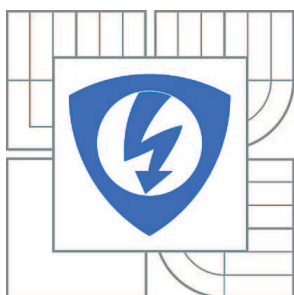


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

NÁVRH A KONSTRUKCE KOMBA PRO ELEKTRICKOU KYTARU

ELECTRIC GUITAR COMBO DESIGN

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

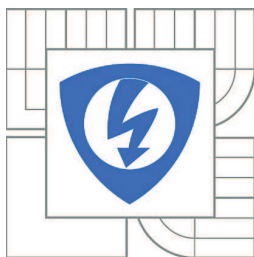
VIKTOR OBR

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. MARTIN DUŠEK

BRNO 2012



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav radioelektroniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Elektronika a sdělovací technika

Student: Viktor Obr

ID: 125568

Ročník: 3

Akademický rok: 2011/2012

NÁZEV TÉMATU:

Návrh a konstrukce komba pro elektrickou kytaru

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Seznamte se s problematikou návrhu předzesilovače, efektového, korekčního a koncového zesilovače pro elektrickou kytaru. Navrhněte schémata jednotlivých bloků akustického řetězce a koncového stupně výkonového zesilovače, který je schopen dodat výstupní výkon minimálně 50 W do zátěže 4 ohm.

Základní vlastnosti navržených zapojení simulujte v programu PSpice.

Navrhněte desky plošných spojů pro jednotlivé funkční bloky a napájecí zdroj. Tyto desky osadte, oživte a proměřte jejich základní charakteristiky. Vytvořte prototyp konečné podoby celého zařízení a proměřte jeho vlastnosti. Výsledky měření srovnajte s počítačovou simulací a očekávanými parametry.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] SLONE, G. High-power audio amplifier construction manual : 50 to 500 Watts for the audio perfectionist. New York : McGraw-Hill, 1988.

[2] KOTISA, Z. NF zesilovače 1 - předzesilovače. Praha: BEN - technická literatura, 2002.

Termín zadání: 6.2.2012

Termín odevzdání: 25.5.2012

Vedoucí práce: Ing. Martin Dušek

Konzultanti bakalářské práce:

prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida
Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Abstrakt

Text této bakalářské práce popisuje návrh a konstrukci komba pro elektrickou kytaru. První část se zabývá historií kytarových zesilovačů a teorií návrhu jednotlivých bloků komba. Druhá část pak obsahuje konkrétní návrhy kytarových efektů (fuzz a tremolo), korekčního předzesilovače, koncového zesilovače s integrovaným obvodem TDA7293V, napájecích zdrojů pro jednotlivé bloky a výběr reproduktorů pro kombo. Jednotlivé efekty a předzesilovač jsou také nasimulovány pomocí PSpice. V poslední části jsou změřeny vlastnosti jednotlivých bloků a celého komba.

Klíčová slova

Kombo, zesilovač, kytarový efekt, TDA7293V

Abstract

The text of this bachelor's thesis describes designing a construction of electric guitar combo. The first part of the project deals with history of guitar amplifiers and theory of design of individual components. The second part includes actual designs of guitar effect units (fuzz and tremolo), correction preamplifier, power amplifier with integrated circuit TDA7293V, power supplies for all components and choice of speakers for guitar combo. All effect units and preamplifier are also simulated in PSpice. In the last part there are results of measurements of all components and the whole combo.

Keywords

Combo, amplifier, effect unit, TDA7293V

Bibliografická citace

OBR, V. *Návrh a konstrukce komba pro elektrickou kytaru: bakalářská práce*. Brno: FEKT VUT v Brně, 2012. 44 s. Vedoucí projektu Ing. Martin Dušek.

Prohlášení

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci na téma Návrh a konstrukce komba pro elektrickou kytaru jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne 2. ledna 2012

.....
podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Martinu Duškovi za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé práce. Dále děkuji Ing. Jiřímu Schimmelovi, Ph.D. za pomoc při měření v bezodrazové komoře.

V Brně dne 2. ledna 2012

.....
podpis autora

Obsah

ÚVOD	7
1 KYTAROVÉ KOMBO	8
1.1 Historie	8
1.2 Koncové zesilovače	8
1.3 Reproductory a ozvučnice	10
1.4 Kytarové efekty	11
2 NÁVRH A SIMULACE BLOKŮ KOMBA	14
2.1 Efekty	14
2.2 Předzesilovač	16
2.3 Koncový stupeň	17
2.4 Zdroje napájecího napětí	20
2.5 Reproductory a ozvučnice	21
3 MĚŘENÍ BLOKŮ A CELÉHO KOMBA	24
3.1 Měření efektů	24
3.2 Měření frekvenční charakteristiky předzesilovače	26
3.3 Měření výstupního výkonu zesilovače před limitací	26
3.4 Směrová a kmitočtová charakteristika ozvučnice	27
ZÁVĚR	29
Použitá literatura	30
Seznam obrázků a tabulek	31
Seznam příloh	32

ÚVOD

Tématem této bakalářské práce je návrh a konstrukce komba pro elektrickou kytaru. Práce se zabývá jak teorií stavby a návrhem bloků komba, tak jeho konstrukcí a měřením jeho parametrů a parametrů jednotlivých bloků.

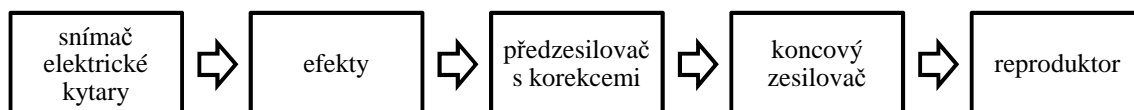
Bakalářská práce má za cíl seznámit s problematikou návrhu jednotlivých částí komba, kterými jsou předzesilovač s Baxandallovým korektorem a koncový zesilovač realizovaný jako integrovaný zesilovač obvodem TDA7293V. Toto řešení bylo zvoleno kvůli jeho cenové dostupnosti, jednoduchosti a parametrům, kterých zesilovač i přes tuto jednoduchost dosahuje.

Kombo také bude osazeno dvěma vestavěnými kytarovými efekty, a to efektem fuzz a tremolo. Jejich výběr byl ovlivněn budoucím využitím komba. Práce rovněž obsahuje návrhy napájecích zdrojů pro všechny části komba, stejně jako popis použitých reproduktorů.

Požadované vlastnosti zapojení efektů a předzesilovače jsou také simulovány v programu PSpice, u ostatních částí jsou uvedeny alespoň hodnoty udávané výrobcem, a následně i změřeny na reálných zapojeních. Rovněž jsou proměřeny charakteristiky ozvučnice komba.

1 KYTAROVÉ KOMBO

Kytarové kombo je přístroj sloužící k zesílení a reprodukování signálu z elektrické kytary. Skládá se z předzesilovače, koncového zesilovače a reproduktorové skříně s jedním nebo více reproduktory. Většina kytarových komb obsahuje v předzesilovači také korekční členy umožňující změnu frekvenční charakteristiky, některé pak i vestavěné kytarové efekty, které slouží k další úpravě signálu. Na obrázku 1 je zjednodušené blokové schéma cesty signálu ze snímáče elektrické kytary až po reproduktor.



Obr. 1: Cesta signálu z kytary až po reproduktor

1.1 Historie

Historie kytarových zesilovačů a komb sahá do 30. let 20. století, kdy byly používány k zesilování zvuku z akustických kytar. Jejich výkon se pohyboval okolo 15 W, teprve až s příchodem elektrických kytar a rock'n'rollu se výkony zesilovačů začaly zvyšovat. Po představení první elektrické kytary (ne akustické s elektronikou) Fender Broadcaster v roce 1946 (později přejmenovaná na Telecaster) nastal velký rozmach kytarových zesilovačů, který se ještě znásobil po příchodu asi nejrozšířenější a dodnes nejkopírovanější elektrické kytary Fender Stratocaster (1954).

Mezi nejznámější značky kytarových zesilovačů patří Fender (od roku 1938 vyrábí kytary, od roku 1948 i zesilovače), Marshall, Kustom, Laney, Line6, Mesa Boogie, Orange, Peavey a Vox.

1.2 Koncové zesilovače

Koncový zesilovač slouží k výkonovému zesílení již upraveného signálu z elektrické kytary po průchodu efekty a předzesilovačem. Jeho nejdůležitějšími vlastnostmi proto jsou výkonové zesílení, vysoká účinnost (kvůli nárokům na chlazení) a nízké zkreslení signálu (k tomu dochází cíleně v efektech a není proto žádoucí signál dále zkreslovat). Pro Hi-Fi přístroje platí podle normy DIN 45 500 hodnoty zkreslení nižší než 0,7% pro předzesilovače, 0,7% pro koncové zesilovače a 1% pro celý zesilovač.

Zesilovače (včetně předzesilovačů) se dělí podle konstrukce na elektronkové, tranzistorové, hybridní a modelingové.

Elektronkové zesilovače (též celolampové, obr. 2) používají elektronky (slangově lampy) v předzesilovači i koncovém zesilovači. Kvůli vysoké ceně, nárokům na údržbu a omezené životnosti byly už téměř nahrazeny tranzistorovými, stále jsou však používány pro svůj charakteristický zvuk.



Obr. 2: Kytarové kombo s elektronkami v předzesilovači (6, vpravo) i koncovém zesilovači (2, vlevo) [5]

Tranzistorové zesilovače (též polovodičové) obsahují v obou stupních tranzistory. Jsou podstatně jednodušší, levnější a nenáročnější na údržbu než elektronkové zesilovače, dosahují však horší kvality a dynamiky zvuku.

Hybridní zesilovače (pololampové) jsou jakýmsi kompromisem mezi elektronkovými a tranzistorovými zesilovači. Obsahují elektronku v předzesilovači (která ovlivňuje barvu zvuku) a tranzistory v koncovém stupni. Zvukově se proto blíží celolampovým zesilovačům, ale jsou levnější a jednodušší.

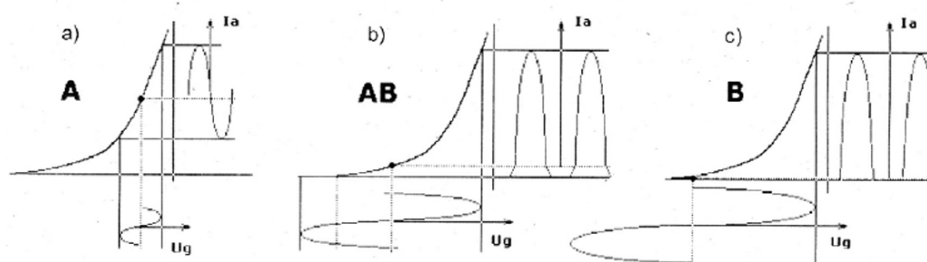
Speciální skupinou jsou **modelingové zesilovače**, které používají procesor k napodobení různých typů zesilovačů, nebo dokonce i konkrétních modelů.

Koncové zesilovače se dále dělí podle zapojení a nastavení pracovního bodu na různé třídy (obr. 3). Nejběžnějšími jsou

- **třída A** – výkonové součástky jsou stále ve vodivém stavu, pracují ve středu lineární pracovní oblasti. Dosahují nejmenšího zkreslení (do 0,1%) za cenu malé účinnosti (kolem 5%), jsou proto náročné na chlazení.

- **třída B** – výkonové součástky jsou ve dvojčinném zapojení a s nulovým klidovým proudem. Střídají se ve zpracování signálu, každá polovina zpracovává jednu půlvlnu signálu. Dochází k vysokému přechodovému zkreslení, ale účinnost je větší než 50%.

- **třída AB** – spojuje výhody tříd A a B, používá se v nízkofrekvenční technice nejčastěji. Díky zavedení malého klidového proudu má větší účinnost než třída A (asi 30%) a nižší harmonické zkreslení než třída B (asi 0,1%).



Obr. 3: Nastavení pracovních bodů pro třídy A, AB, B (upraveno z [4])

Dalšími třídami zesilovačů jsou např. třída C (vysokofrekvenční technika, vysoká účinnost, ale velké zkreslení), D (digitální, účinnost kolem 90%, ale velké zkreslení), T (vylepšená třída D, podobná účinnost, ale velmi nízké zkreslení).

1.3 Reproductory a ozvučnice

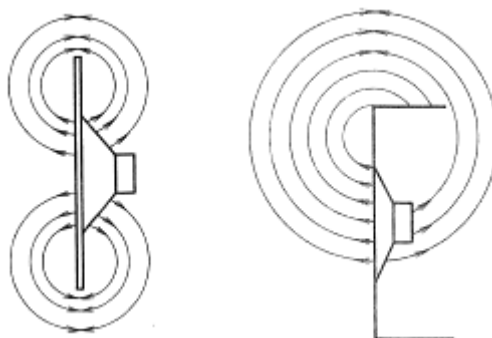
Reproduktor je elektroakustický měnič (resp. elektromechanický a mechanickoakustický), vytváří z elektrického signálu zvukový signál.

Podle způsobu vyzařování se dělí na přímovyzařující (membrána je přímo vázána s vnějším vzduchem) a nepřímovyzařující (membrána vázána přes zvukovod).

Podle principu elektromechanického měniče se reproductory rozdělují na elektromagnetické (kovová membrána přitahovaná elektromagnetem), elektrodynamické (permanentní magnet a membrána s cívkou, kterou prochází proud), elektrostatické (membrána s tenkou vodivou vrstvou umístěná mezi dvěma elektrodami), piezoelektrické (využívá piezoelektrický jev) a speciální (založené na jiných principech).

Podle rozsahu pásma přenášených kmitočtů se pak dělí na širokopásmové, hlubokotónové, středotónové a vysokotónové.

Přímovyzařující reproductory potřebují ke své správné činnosti desku zvanou ozvučnice. Ta prodlužuje vzdálenost mezi přední a zadní stranou membrány reproduktoru a posunuje tím mezní kmitočet, při kterém dochází k akustickému zkratu (obr. 4), k nižším kmitočtům. Při akustickém zkratu dochází k poklesu kmitočtové charakteristiky. Ozvučnice se podle konstrukce dělí na deskové a skříňové.



Obr. 4: Akustický zkrat u deskové ozvučnice (vlevo) a otevřené skříňové ozvučnice (vpravo) (upraveno z [3])

Desková ozvučnice byla dříve používána pro výrobní nenáročnost a nízkou cenu, nedosahuje však akustických ani vzhledových kvalit ozvučnic skříňových. Pro přenos nízkých kmitočtů jsou potřeba velké rozměry ozvučnicové desky, u kterých je ovšem obtížné dodržet požadavek dostatečné tuhosti a deska pak vlivem vlastních kmitů produkuje rušivé zvuky, které mají vliv na kmitočtový průběh reproduktoru.

Skříňová ozvučnice je vhodnější ať už z hlediska estetického a funkčního (slouží zároveň k ochraně reproduktoru před vnějšími vlivy), tak i zvukového. Akustické obvody ozvučnice mohou příznivě, ale i nepříznivě ovlivňovat průběh kmitočtové charakteristiky. Před membránou reproduktoru (krycí látka, vzduch ve výstupních otvorech u tlustých předních desek) ovlivňují kmitočtovou charakteristiku především při vyšších kmitočtech, za membránou akustické obvody (objem skříně, tlumící hmoty) ovlivňují převážně přenos nižších kmitočtů.

Skříňové ozvučnice se dále dělí na

- **otevřené** – zadní strana bývá otevřena, záleží na poměru rozměrů přední desky a hloubky skříně. Byla používána dříve např. u rozhlasových a televizních přijímačů, umožňuje chlazení přístroje.

- **uzavřené** – dokonalé odstranění akustického zkratu, ale uzavřený objem zvuku působí na zadní stranu membrány a posunuje rezonanční kmitočet soustavy k vyšším kmitočtům.

- **typu bass-reflex** – v přední desce obsahuje otvor s určitou délkou hrdla, který příznivě ovlivňuje nelineární zkreslení a přenos na nižších kmitočtech. Změnami (např. stárnutím) membrány reproduktoru se ale může soustava lehce rozladit a znehodnotit tím přenos nižších kmitočtů.

U kytarových komb se nejčastěji používá **polouzavřená skříňová ozvučnice**, která spojuje výhody otevřené ozvučnice (možnost chlazení vestavěných přístrojů) a uzavřené ozvučnice (potlačení akustického zkratu).

1.4 Kytarové efekty

Kytarové efekty jsou zařízení, která ovlivňují signál z elektrické kytary a tím i její zvuk. Efekty bývají vestavěny v zesilovačích, v efektových skříních (tzv. rackmounty), přímo v nástrojích (např. v elektrických pianech, v kytarách se příliš nevyskytují), nebo nejčastěji v efektových pedálech (tzv. stompboxy).

Skříňové efekty jsou navrženy tak, aby je bylo možné vestavět do skříně se sloty o rozměru 19 palců (obr. 5), které se používají v telekomunikační a výpočetní technice. Používají se nejčastěji v nahrávacích studiích, nebo spolu s přepínacím pedálem i při živých vystoupeních (umožňují jedním sešlápnutím pedálu přepnout několik efektů naráz). Tyto efekty jsou také nejstarší, byly přímým pokračovatelem různých studiových pokusů o nezvyklý zvuk (např. nerovnoměrným posunem magnetofonové pásky při nahrávání nebo umístěním mikrofону). Prvním komerčně dostupným efektem byl Trem-Trol z roku 1948. Tyto první efekty však byly drahé a vyžadovaly velké transformátory a vysoká napětí.



Obr. 5: Skříňové efekty (tzv. rackmounts) [6]

Od začátku 50. let se efekty začaly **vestavovat i do kytarových zesilovačů**, nejčastěji šlo o vibrato, tremolo a reverb, které byly koncem 50. let součástí většiny kytarových komb. Dnes asi nejpoužívanější efekt distortion nebyl v 50. letech samostatným efektem, ale bylo jednoduché ho na tehdejších elektronkových zesilovačích dosáhnout zvýšením napájecího napětí, čímž se zesilovač dostal do limitace a ze sinusového signálu se stal téměř obdélníkový signál.

S příchodem tranzistorů se začaly ve velkém vyrábět a rozšiřovat i **pedálové efekty** (obr. 6), malé krabičky a jedním efektem, které se jednoduše připojí mezi kytaru a zesilovač. Ovládají se pedálovým přepínačem a je možné je napájet i 9 V baterií. Lze je proto používat kdekoli, ať už ve studiu, nebo při vystoupení. Prvním takovým efektem byl Maestro Fuzz Tone, který proslavila skupina Rolling Stones písní Satisfaction (1965).



Obr. 6: Deska s pedálovými efekty [6]

Kytarové efekty se dělí na zkreslovací a modulační. Zkreslovací efekty mění tvar signálu, modulační efekty ovlivňují hlasitost, frekvenční pásmo, časový průběh a výšku tónů.

Mezi zkreslovací efekty např. patří

- **distortion** – tento efekt zkresluje signál ořezáním špiček sinusoidy, resp. přidáváním neharmonických složek.

- **overdrive** – zkresluje podobně jako distortion, ale pouze při vyšších hlasitostech, kdežto distortion zkresluje signál při jakékoliv hlasitosti.

- **fuzz** – ořezává špičky signálu a jeho zbytek zesiluje tak, aby se co nejvíce přiblížil obdélníkovému signálu (podobně jako elektronkový zesilovač v limitaci), výsledkem je pak ještě drsnější zvuk než u distortion.

Nejpoužívanějšími modulačními efekty pak jsou

- **boost** – používá se k zesílení signálu např. při sólu.

- **tremolo** – periodicky snižuje a zvyšuje hlasitost (amplitudu) signálu.

- **phaser** – rozdělí signál na dva, jeden fázově posune a opět je sečte.

- **wah-wah** – používá kolébkový pedál, v závislosti na jeho poloze efekt propouští různé frekvence, čímž se docílí „kvákavého“ zvuku (wah-wah efekty jsou proto také zvány kvákadla).

- **delay** – opakuje stejně hlasitou kopii signálu s určitým zpožděním.

- **reverb** – funguje podobně jako delay, jen je kopie signálu zeslabena, čímž se vytvoří dojem ozvěny nebo dozvuku v hale.

- **vibrato** – periodicky snižuje a zvyšuje tón zvuku.

- **octaver** – posunuje frekvenci signálu o oktávu (nebo i několik oktáv) níž nebo výš.

Nejznámějšími značkami efektových pedálů jsou Boss (největší počet typů vyráběných efektů), Electro-Harmonix, Vox, MXR, nebo také Fender, Marshall a Ibanez zabývající se především výrobou kytarových zesilovačů nebo kytar.

2 NÁVRH A SIMULACE BLOKŮ KOMBA

Navrhované kombo bude obsahovat 2 vestavěné (původně pedálové) efekty, a to fuzz, a tremolo, s vlastním společným zdrojem napájecího napětí. Dále bude součástí předzesilovač s regulací hlasitosti, výšek a hloubek. Koncový zesilovač bude realizován pomocí integrovaného obvodu TDA7293V. Předzesilovač a koncový stupeň budou mít společný zdroj. Kombo bude kvůli vysokému výkonu osazeno dvěma reproduktory.

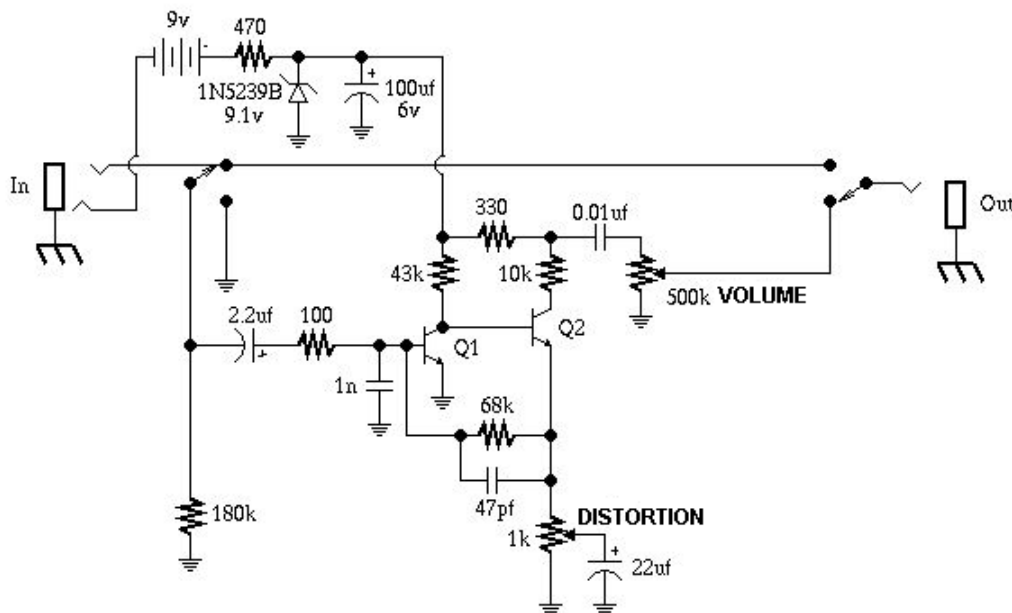
2.1 Efekty

Jedná se o zapojení pedálových efektů Dunlop Jimi Hendrix Fuzz Face (efekt fuzz) a Electronics Australia Tremolo (efekt tremolo), u kterých byl jen nahrazen potenciometr pro ovládání hlasitosti trimrem pro zvolení konstantního zesílení efektu. Ostatní ovládací prvky jsou ponechány beze změny a budou umístěny na čelním panelu zesilovače komba.

Fuzz

Efekty jako distortion, overdrive a fuzz pracují na principu přebuzení zesilovacího prvku, ať už je to elektronka, nebo tranzistor. Elektronkové a tranzistorové zkreslení se mírně liší zvukem, výhodou tranzistorů je, že toto nešetrné zacházení vydrží mnohem déle než drahé elektronky.

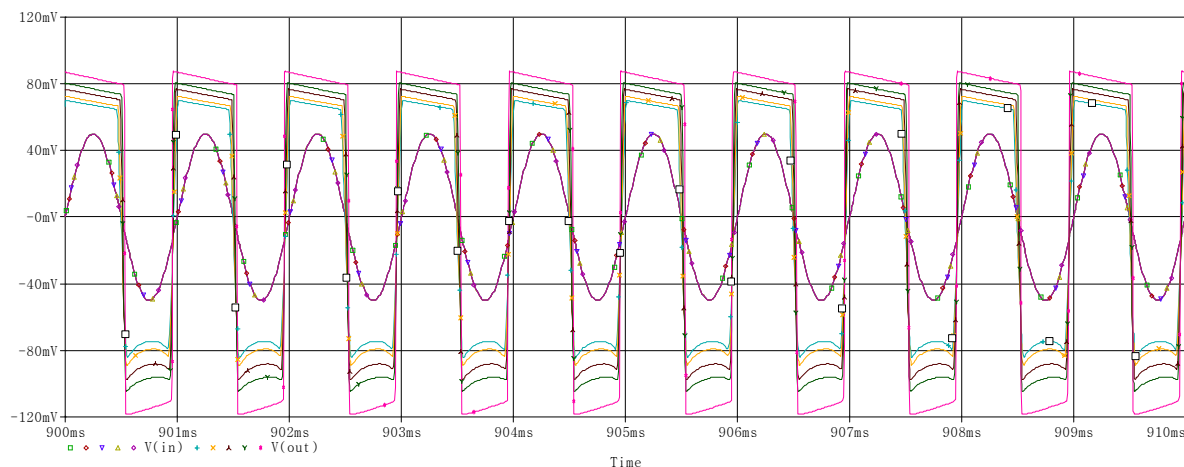
V zapojení na obrázku 7 (deska plošného spoje v příloze A.1) slouží první tranzistor k zesílení vstupního signálu, druhý tranzistor je pak tímto zesíleným signálem přebuzen a ořezává špičky sinusového signálu tak, že z něj utvoří signál obdélníkový. Potenciometrem distortion se pak nastaví zpětná vazba tranzistorů a dochází ke změně amplitudy signálu a jeho tvaru (a tím i výsledného zvuku).



Obr. 7: Schéma efektu Dunlop JH Fuzz Face (převzato z [9])

Zapojení pro simulaci je v podstatě shodné, pouze potenciometr pro nastavení zkreslení je nahrazen dvěma rezistory s rozmítáním hodnoty odporu v pěti krocích. Na vstup efektu je přiveden sinusový signál o amplitudě 50 mV, který přibližně odpovídá signálu z elektrické kytary, a frekvenci 1 kHz.

Efekt vytváří ze sinusového signálu signál téměř obdélníkový, záleží na nastavení potenciometru distortion (obr. 8). Ten ovlivňuje jak zesílení signálu, tak jeho tvar, patrné je to zvláště u záporné půlvlny signálu.

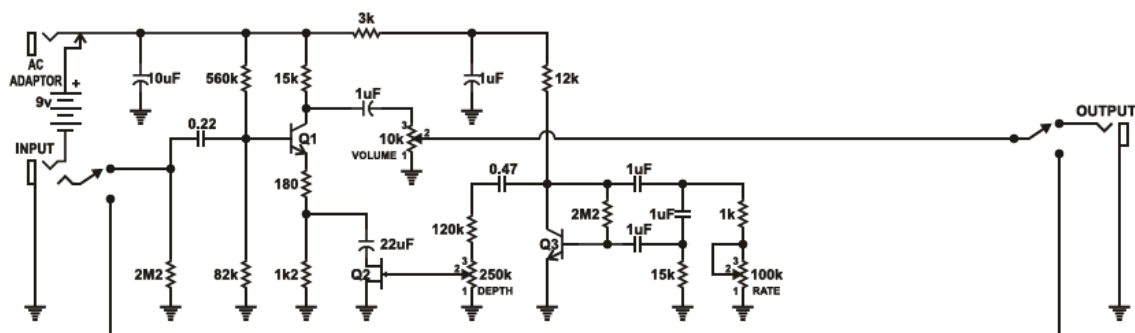


Obr. 8: Časové průběhy na vstupu a na výstupu efektu fuzz pro různé nastavení potenciometru zkreslení

Tremolo

Tremolo periodicky mění amplitudu signálu díky modulačnímu signálu. Tento signál má většinou velmi nízkou frekvenci v řádu desítek Hz, kterou je navíc možné měnit v rozsahu cca 20 – 60 Hz. Lze také měnit hloubku modulace a tím i rozdíl minimální a maximální hlasitosti zvuku.

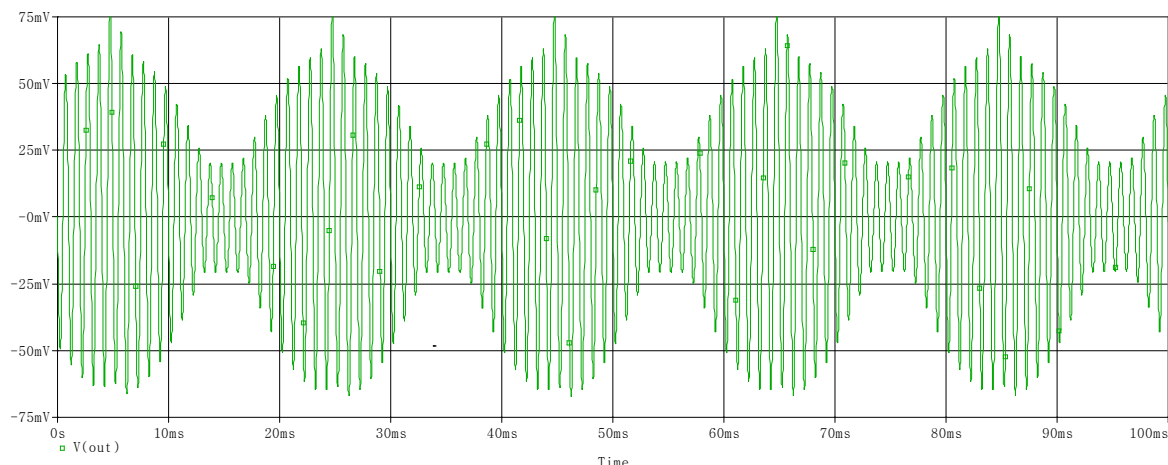
Schéma efektu je na obrázku 9, plošný spoj pak v příloze A.2. Tranzistor Q3 spolu s okolními rezistory a kondenzátory tvoří oscilátor, který tvoří modulační napětí a přes tranzistor Q2 mění zpětnou vazbu zesilovače s tranzistorem Q1 a tím i jeho zesílení. To má za následek změny amplitudy procházejícího signálu.



Obr. 9: Schéma efektu EA Tremolo [10]

Ve schématu pro simulaci je oscilátor nahrazen zdrojem sinusového napětí, v simulaci se totiž bez stanovení počátečních podmínek oscilátor nerozkmitá a nedochází proto k modulování signálu. Na vstup je přivedeno stejné napětí jako v předchozím případě. Z důvodu velkého zesílení je na výstupu odporový dělič v poměru 1:9.

Z časového průběhu (obr. 10) je patrné, jak je vstupní signál o frekvenci 1 kHz modulován. Obálka modulovaného signálu má tvar sinusoidy o frekvenci modulačního signálu, tj. 50 Hz. Pouze při maximální hodnotě amplitudy dochází k většímu zesílení, než odpovídá teoretickému tvaru obálky, je to dáno velikostí modulačního signálu a jeho střední hodnotou (offsetem).

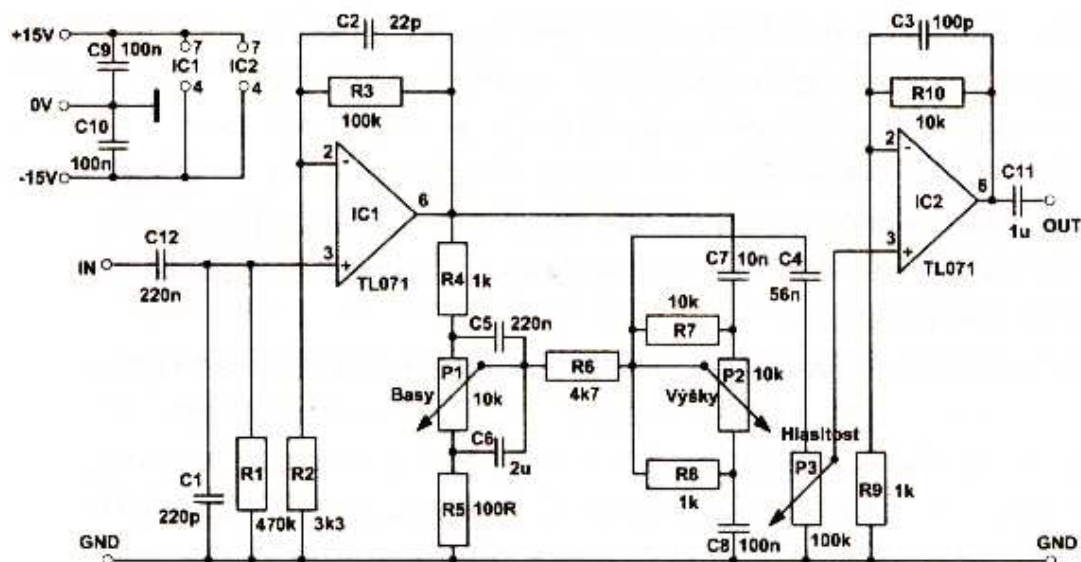


Obr. 10: Časový průběh na výstupu efektu tremolo

2.2 Předzesilovač

Zapojení korekčního předzesilovače (obr. 11, plošný spoj v příloze A.3, jeho součástí je i zdroj stabilizovaného napětí ± 15 V pro předzesilovač) pochází z [1]. Skládá se ze dvou nízkošumových operačních zesilovačů TL071, má minimální zkreslení. Díky nízkoohmovému výstupu druhého operačního zesilovače je vhodný pro připojení téměř jakéhokoli koncového zesilovače. Kondenzátory C2 a C3 slouží k hornímu omezení šířky pásma na 160 kHz a zamezují vysokofrekvenčním kmitání.

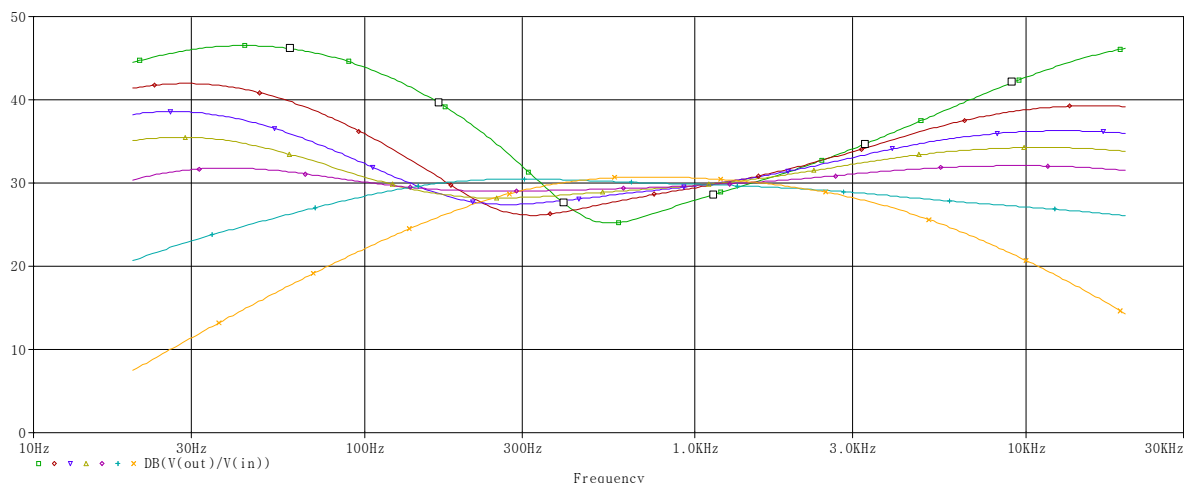
Mezi oběma operačními zesilovači se nachází korektor v Baxandallově zapojení, který umožňuje korekce výšek a hloubek v teoretickém rozsahu až ± 20 dB. Za Baxandallovým korekčním členem je regulátor hlasitosti (logaritmický potenciometr P3), spolu s kondenzátorem C4 tvoří horní propust s mezním kmitočtem asi 30 Hz.



Obr. 11: Schéma předzesilovače (upraveno z [1])

Ve schématu pro simulaci v PSpice jsou potenciometry nahrazeny rezistory s rozmítáním. Na vstupu je zdroj sinusového signálu o amplitudě 50 mV a frekvenci rozmítanou v pásmu 20 Hz – 20 kHz, které odpovídá slyšitelnému pásmu.

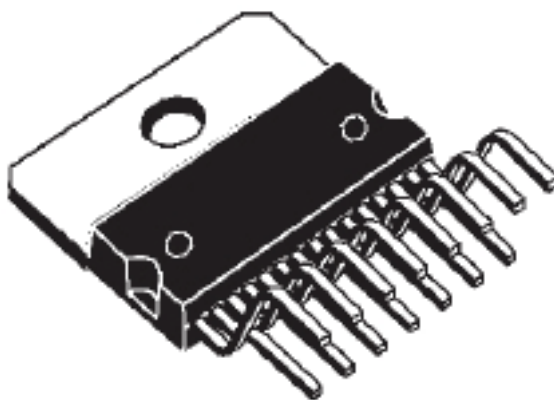
Výstupem simulace je přenosová frekvenční charakteristika na obr. 12. Předzesilovač má na střední frekvenci 1 kHz napěťové zesílení cca 30 dB, pouze při maximálním zdůraznění basů a výšek zesílení na středních frekvencích klesne na hodnotu cca 25 dB. Maximální zdůraznění basů a výšek dosahuje přibližně 17 dB oproti hodnotě 30 dB (tzn. celkové zesílení 57 dB), při nastavení potenciometrů pro úplné potlačení basů dosahuje potlačení 23 dB (celkové zesílení 7 dB), potlačení vysokých frekvencí je 16 dB (zes. 14 dB).



Obr. 12: Přenosová frekvenční charakteristika předzesilovače pro různé nastavení potenciometrů pro korekce basů a výšek

2.3 Koncový stupeň

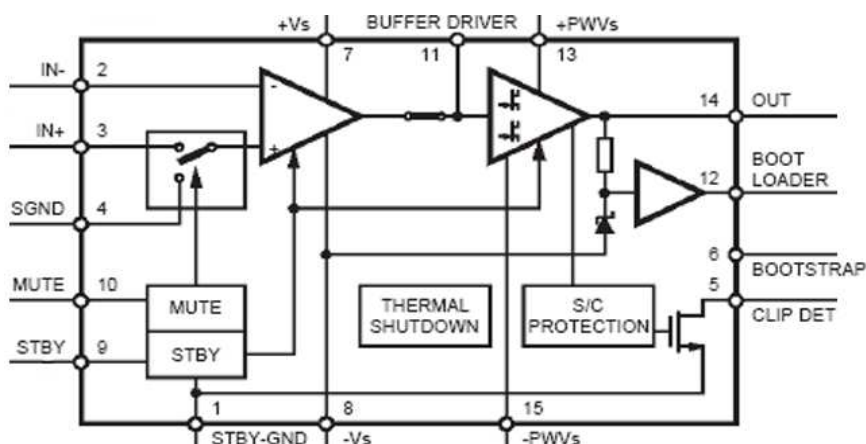
Koncový stupeň využívá integrovaný obvod TDA7293V firmy SGS Thomson. Jedná se o integrovaný zesilovač v pouzdru Multiwatt15 (obr. 13), který je nástupcem obvodu TDA7294, na rozdíl od něj má ale větší rozsah napájecího napětí a vyšší výkon. Je schopen dodat výkon až 140 W do 8 Ω zátěže při napájecím napětí ± 45 V a celkovém zkreslení THD 10 %. Obvod splňuje požadavky pro Hi-Fi zesilovače, při výkonech do 80 W se zkreslení THD pohybuje do 1 %. Pro jeho parametry jej používají ve svých zesilovačích i někteří známí výrobci (např. Marshall).



Obr. 13: Pouzdro Multiwatt15 [7]

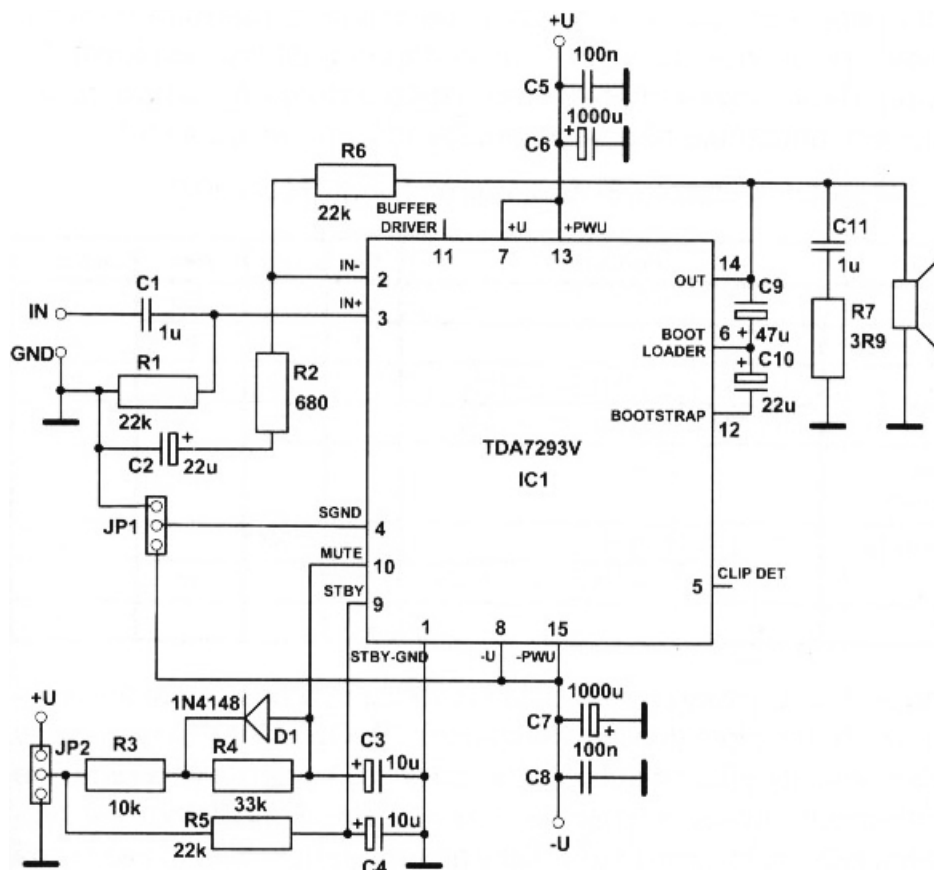
Vnitřní stavba integrovaného obvodu je na obrázku 14. Obvod obsahuje výkonový stupeň ve třídě AB tvořený dvojicí tranzistorů DMOS, funkce MUTE a STAND-BY a

ochrany proti zkratu na výstupu a také tepelnou ochranu, která v případě přehřívání obvodu sníží jeho výkon a zabrání tak jeho destrukci. Za zmínku ještě stojí možnost zapojení paralelního provozu více zesilovačů pro dosažení vyššího výstupního výkonu (např. až 200 W pro dva moduly).



Obr. 14: Zjednodušené schéma vnitřního zapojení obvodu TDA7293V (upraveno z [7])

Samotné zapojení obvodu je doporučené zapojení výrobce uvedené v [2] (plošný spoj v příloze A.4). Díky tomu, že obvod už obsahuje většinu podstatných součástí, je zapojení velmi jednoduché a využívá minimum okolních součástek (obr. 15). Kondenzátor C1 stejnosměrně odděluje vstup zesilovače od předzesilovače, aby nedošlo k ovlivnění jeho pracovního bodu. Kondenzátory C6 a C7 jsou filtrační, C5 a C8 omezují vysokofrekvenční zátkmity. Rezistor R3 slouží jako stejnosměrná zpětná vazba, spolu s R2 zajišťuje i zpětnou vazbu střídavou, která ovlivňuje zesílení, zkreslení a kmitočtovou charakteristiku. Rezistory R3, R4 a R5 spolu s kondenzátory C3 a C4 slouží pro funkce MUTE a STAND-BY, pro jejich aktivaci se na JP2 přivádí zem, pro deaktivaci kladné napájecí napětí.



Obr. 15: Schéma zapojení koncového stupně [2]

V tabulce 1 jsou uvedeny základní parametry použitého integrovaného zesilovače. Uvažovanému zapojení (zátěž 4Ω , napájecí napětí $\pm 30 \text{ V}$) odpovídá výstupní výkon 110 W při harmonickém zkreslení 10% , při zkreslení do 1% je to 80 W (údaje z [7]).

Tabulka 1: Parametry zesilovače TDA7293V [2]

Parametr	Podmínky	Min.	Typ.	Max.	Jednotka
Napájecí napětí		± 12		± 50	V
Zisk uzavřené smyčky		26		40	dB
Výstupní výkon	$U = \pm 45 \text{ V}, R_L = 8 \Omega, \text{THD} = 10 \%$		140		W
	$U = \pm 30 \text{ V}, R_L = 4 \Omega, \text{THD} = 10 \%$		110		W
Potlačení zvlňení napájecího napětí			75		dB
Celkové harmonické zkreslení	$P_o = 5 \text{ W}, f = 1 \text{ kHz}$		0,005		%
	$P_o = 0.1 - 50 \text{ W}, f = 20 \text{ Hz} - 15 \text{ kHz}$			0,1	%
Vstupní odpor		100			$k\Omega$

Zesilovač je třeba přišroubovat na dostatečně velký chladič, nejlépe eloxovaný. Výpočet maximálního tepelného odporu chladiče R_{9H} (čím nižší, tím lépe chladič odvádí teplo) se provede z hodnot ztrátového výkonu P_{ztr} (z [7] $P_{ztr_max} = 30 \text{ W}$), teploty přechodu T_j (z [7] 150°C) a okolí T_0 (40°C) a tepelných odporů R_{9JC} (junction-case = přechod-pouzdro, z [7] 1°C/W) a R_{9CH} (case-heatsink = pouzdro-chladič, odpor podložky $0,41^\circ \text{C/W}$) podle vzorce

$$R_{9H} = \frac{T_j - T_0}{P_{ztr}} - R_{9JC} - R_{9CH} = \frac{110}{30} - 1 - 0,4 = 2,26^\circ \text{C/W}$$

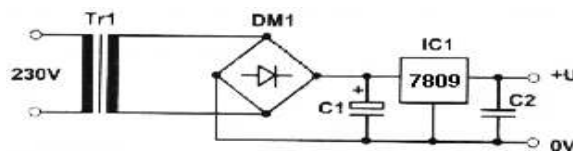
Jako vhodný se jeví eloxovaný hliníkový chladič CHL20B od firmy EZK o rozměrech 152 x 80 x 20 mm, jenž má tepelný odpor $R_{\theta H} = 1,8 \text{ } ^\circ\text{C/W}$.

2.4 Zdroje napájecího napětí

Napájení komba je řešeno dvěma samostatnými zdroji na jedné desce plošného spoje (viz. příloha A.5). Jeden zdroj poskytuje stabilizované napětí 9 V pro oba efekty, druhý pak symetrické napájecí napětí $\pm 30 \text{ V}$ pro koncový stupeň a pro stabilizátory symetrického napětí $\pm 15 \text{ V}$ pro předzesilovač.

Zdroj pro efekty

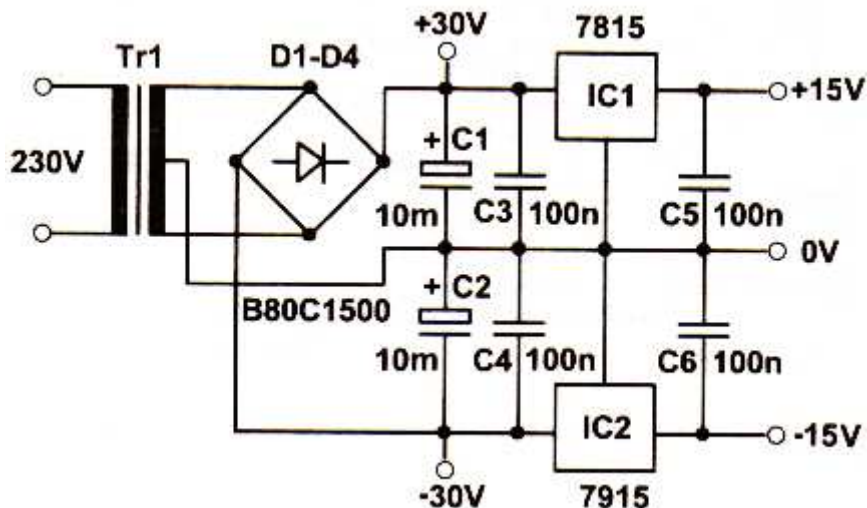
Zdroj je realizován s použitím stabilizátoru 7809 (obr. 22), na jehož výstupu je stabilizované napětí 9 V, resp. výrobce zaručuje jeho hodnotu v rozsahu 8,65 V – 9,35 V pro vstupní napětí 14 V [8]. Pro uvažovaný transformátor se sekundárním napětím 9 V a odečtení napětí na diodovém můstku KBL406 (1,1 V podle datasheetu) je napětí na kondenzátoru 11,6 V. Filtrační kondenzátor C1 má hodnotu kapacity 2,2 mF, čím vyšší kapacita je, tím je napětí na kondenzátoru více vyhlazené a není tak ovlivněno napěťovými rázy ze sítě.



Obr. 16: Schéma stabilizovaného zdroje 9 V (upraveno z [1])

Zdroj pro předzesilovač a koncový zesilovač

Schéma zdroje pro koncový zesilovač je na obrázku 17. Při použití transformátoru se sekundárním napětím 22 V je velikost napájecího napětí 30 V ($22 \text{ V} * \sqrt{2} - 1,1 \text{ V}$), což není kritická hodnota ani pro koncový stupeň, ani pro stabilizátory zdroje předzesilovače. Filtrační kondenzátory C1 a C2 mají kapacitu 10 mF.



Obr. 17: Schéma zdroje pro koncový zesilovač a předzesilovač

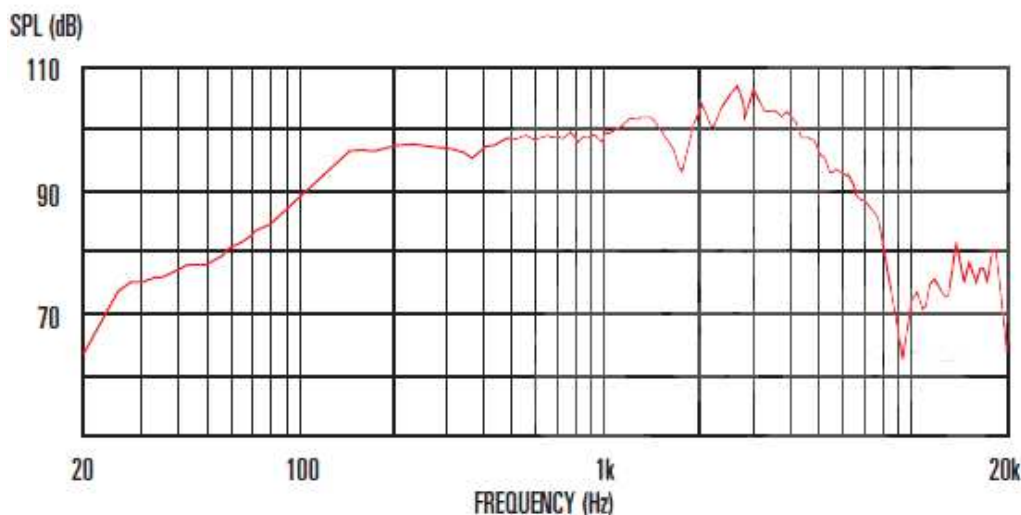
Na svorky zdroje pro koncový stupeň bude připojen jak samotný integrovaný zesilovač, tak i část zdroje sloužící pro stabilizaci napětí $\pm 15 \text{ V}$ pro předzesilovač. Pro

kladnou napájecí větev je použit třívorkový stabilizátor 7815, pro zápornou větev jeho obdoba 7915. Tato část se ale bude nacházet přímo na desce předzesilovače.

2.5 Reprodukory a ozvučnice

Kvalita reproduktorů má na výsledný zvuk kytarového komba stejný vliv jako kvalita samotného zesilovače. Proto je třeba výběru reproduktoru věnovat velkou pozornost. Důležitými parametry reproduktoru jsou jeho výkon (resp. příkon ze zesilovače, který je reproduktor schopen vyzářit při zachování kvality reprodukce), citlivost a také tvar jeho frekvenční charakteristiky. Reprodukory pro kytarová komba mívají vyrovnanou frekvenční charakteristiku především v pásmu 200 Hz – 5 kHz, což je také přibližný frekvenční rozsah elektrické kytary.

Protože se maximální efektivní výkon zesilovače pohybuje kolem 110 W na zátěži 4 Ω , jsou pro stavbu komba využity dva paralelně spojené reproduktory Celestion G10 Vintage. Jsou to 10palcové reproduktory o efektivním výkonu 60 W a charakteristické impedanci 8 Ω speciálně navržené pro použití v kytarových kombech, frekvenční rozsah mají 100 Hz – 5,5 kHz (graf na obr. 18), citlivost 97 dB, rezonanční kmitočet 115 Hz. Lehce vyšší výkon reproduktorů zabezpečí výkonovou rezervu v případě poruchy a také lepší zvukové vlastnosti reproduktorů, které tak nebudou pracovat na hranici svých možností.

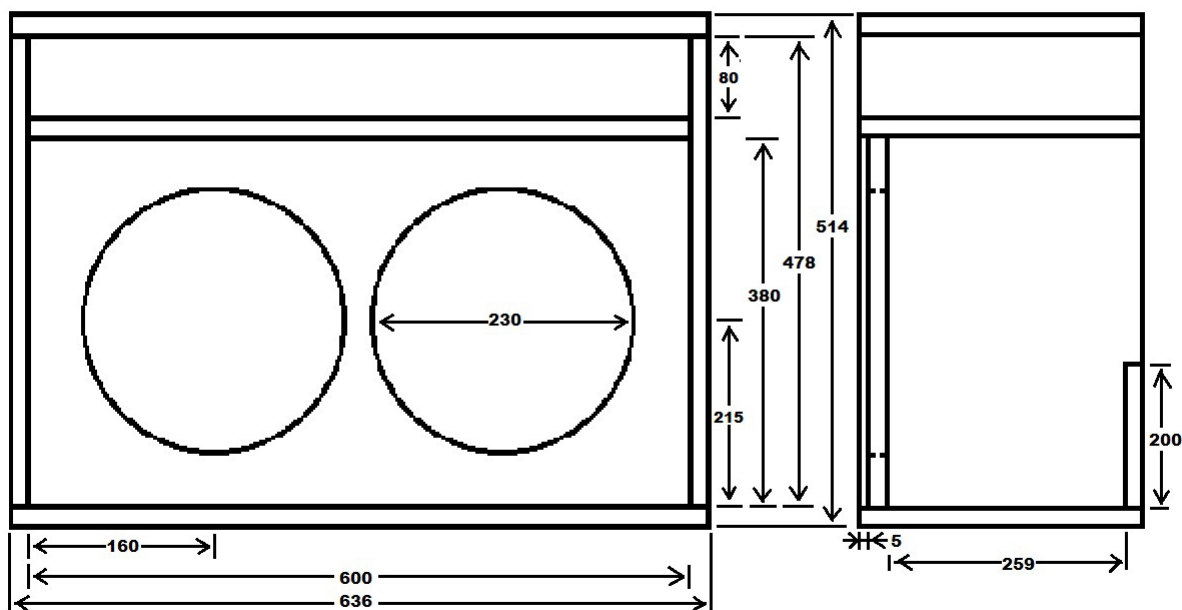


Obr. 18: Graf závislosti hladiny akustického tlaku (SPL) na frekvenci [11]

Doporučený objem ozvučnice pro jeden reproduktor je 30 litrů. Protože se jedná o polootevřenou ozvučnici (navíc je možné zadní desku odšroubovat a vznikne tak ozvučnice otevřená), není její objem kritický jako u ozvučnic uzavřených. Vnitřní rozměry ozvučnice jsou 60 x 38 x 27 cm, což odpovídá objemu 61,56 litrů, po odečtení objemu reproduktorů je to přibližně 60 litrů (dva reproduktory, proto 2 x 30 litrů objem ozvučnice). Ozvučnice je oddělena od prostoru pro zesilovač, jak je patrné z obrázku 19, kde jsou také ostatní rozměry komba (v mm).

Kombo je zhotoveno z dřevovláknitých desek DTD tloušťky 18 mm, což je materiál nejčastěji používaný pro stavbu komb a reproduktorových skříní. Dalším vhodným materiálem je například dřevovláknitá deska MDF, která má o něco lepší zvukové vlastnosti než deska DTD (MDF obsahuje více dřeva a méně lepidla než DTD, proto má lepší zvuk), je ale těžší a dražší, DTD je proto lepším kompromisem pro stavbu přenosného komba. I přes

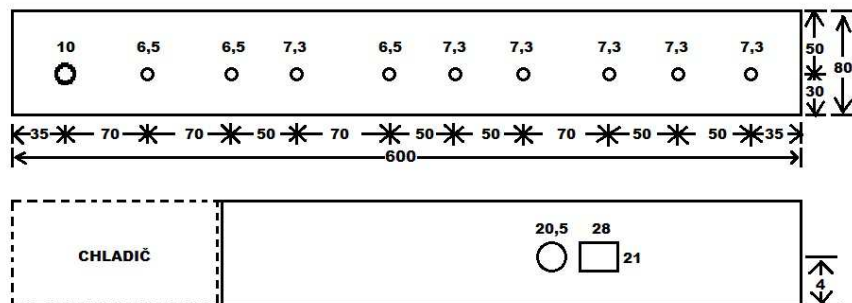
použití lehčího materiálu celé kombo včetně zesilovače a reproduktorů váží cca 22 kg. Desky jsou k sobě přilepeny na tupo (kolmé řezy, oproti tomu lepení na pokos vyžaduje v rozích řezy šikmé) a přišroubovány, zevnitř je pak ozvučnice vyztužena dřevěnými hranolky v rozích, které jsou přišroubovány.



Obr. 19: Rozměry komba

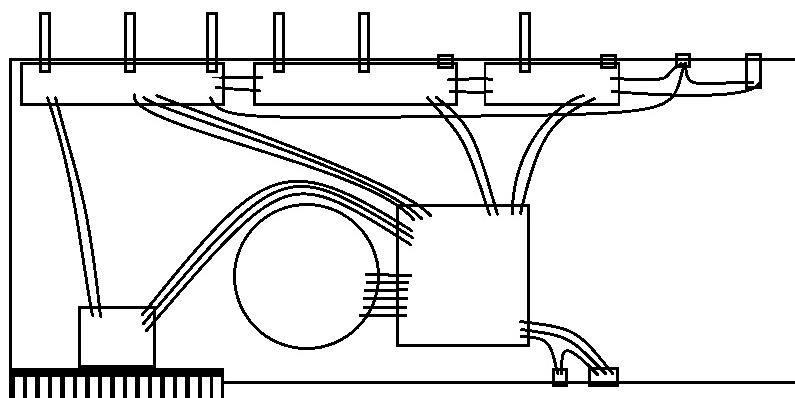
Povrch desek je polepen samolepící tapetou v imitaci kůže, zevnitř je kombo nastříkáno černou barvou. Kombo má i ochranné plastové rohy a na vrchní straně madlo.

Jednotlivé bloky zesilovače jsou připevněny přes distanční sloupky k hliníkovému plechu tloušťky 1 mm ohnutému do tvaru U, takže zároveň tvoří i přední a zadní panel zesilovače (obr. 20). Na předním panelu se nachází (zleva) vstupní jack 6,3 mm, přepínač efektů (zapnuty/vypnuty), ovládací prvky efektu fuzz (přepínač a potenciometr distortion), ovládací prvky efektu tremolo (přepínač, potenciometr hloubky modulace depth a frekvence modulačního signálu rate) a ovládací prvky předzesilovače (korekce basů, výšek a hlasitost). Potenciometr hlasitosti je opatřen přístrojovým knoflíkem o rozměrech 40 x 16 mm (průměr x výška), ostatní potenciometry knoflíky 35 x 16 mm. Na zadním panelu je pak (zleva) výřez na chladič, hlavní vypínač a konektor pro připojení síťového kabelu.



Obr. 20: Přední a zadní panel zesilovače

Rozmístění jednotlivých bloků je na obr. 21. Nahoře zleva jsou to předzesilovač, tremolo a fuzz, dole pak koncový zesilovač s chladičem, toroidní transformátor a plošný spoj zdroje.



Obr. 21: Rozmístění bloků zesilovače

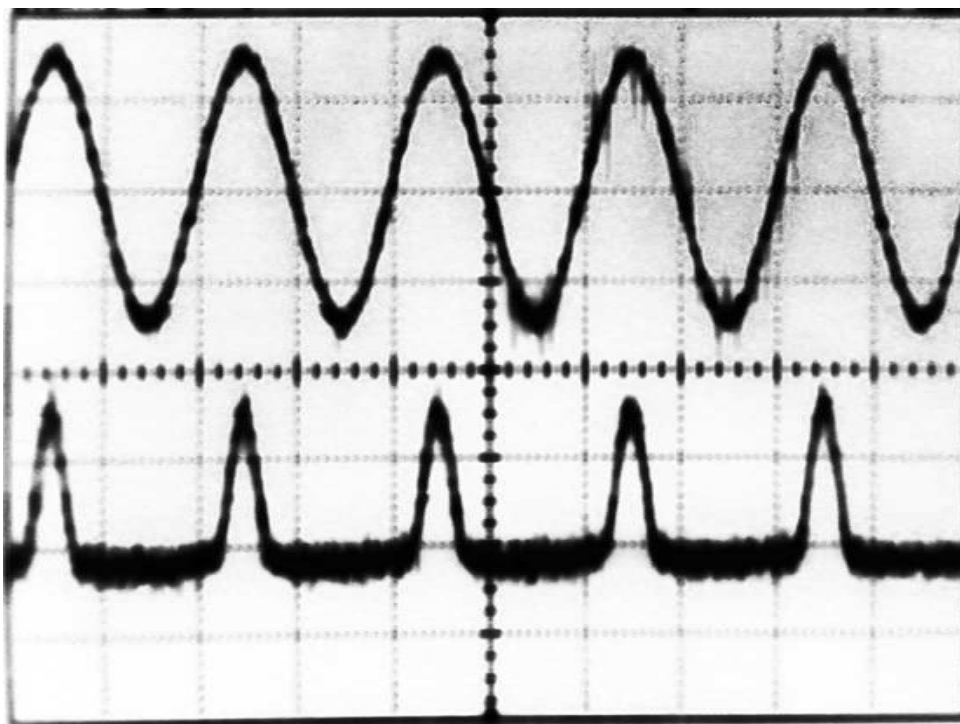
3 MĚŘENÍ BLOKŮ A CELÉHO KOMBA

Tato kapitola obsahuje výsledky měření vstupního a výstupního signálu efektů, frekvenční charakteristiky korekčního předzesilovače pro různě nastavené korekce, výstupního výkonu koncového zesilovače a také měření modulové kmitočtové charakteristiky a směrové charakteristiky ozvučnice.

3.1 Měření efektů

Při měření efektů byl použit laboratorní zdroj MCP jako zdroj napájecího napětí 9 V. Vstupní sinusový signál o frekvenci 1 kHz generovaný funkčním generátorem Hung Chang měl efektivní hodnotu napětí 100 mV.

Na obrázku 22 je upravený snímek z osciloskopu Agilent 54624A, horší kvalita je způsobená fotoaparátem, osciloskop nemá výstup do PC ani na USB. Na horní polovině snímku je vstupní signál, na dolní pak výstupní signál z efektu fuzz při maximálním zkreslení. Zkreslení nastavené potenciometrem distortion má vliv na limitaci spodní půlvlny signálu. Měření neodpovídá simulaci, dochází k limitaci pouze u záporné půlvlny, zatímco v simulaci docházelo k limitaci obou. Na subjektivní poslech je signál možná až příliš zkreslený, hlavně při hraní na více strun, a i při plné hlasitosti (nastavení trimru) je efekt spíše tichý, ale to je u tohoto efektu obvyklé.



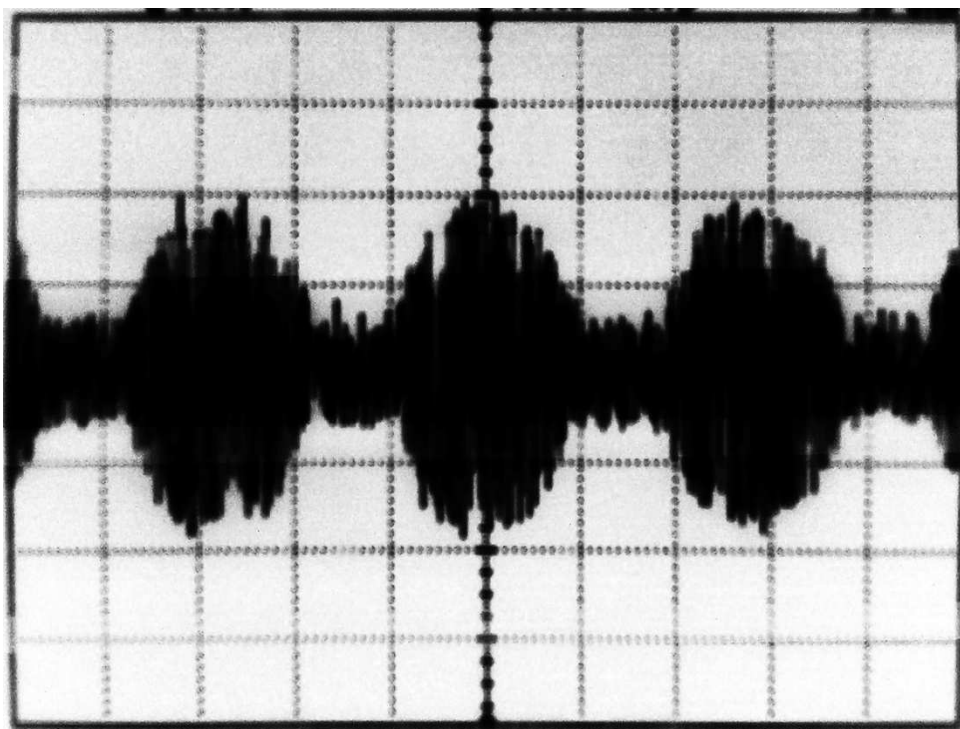
Obr. 22: Vstupní a výstupní signál efektu fuzz (100 mV/dílek, 500 μ s/dílek)

Na dalších dvou obrázcích (obr. 23 a 24) je výstupní signál z efektu tremolo, nejdříve při nejnižší frekvenci modulačního signálu a potom při nejvyšší. Naměřeným hodnotám odpovídají frekvence

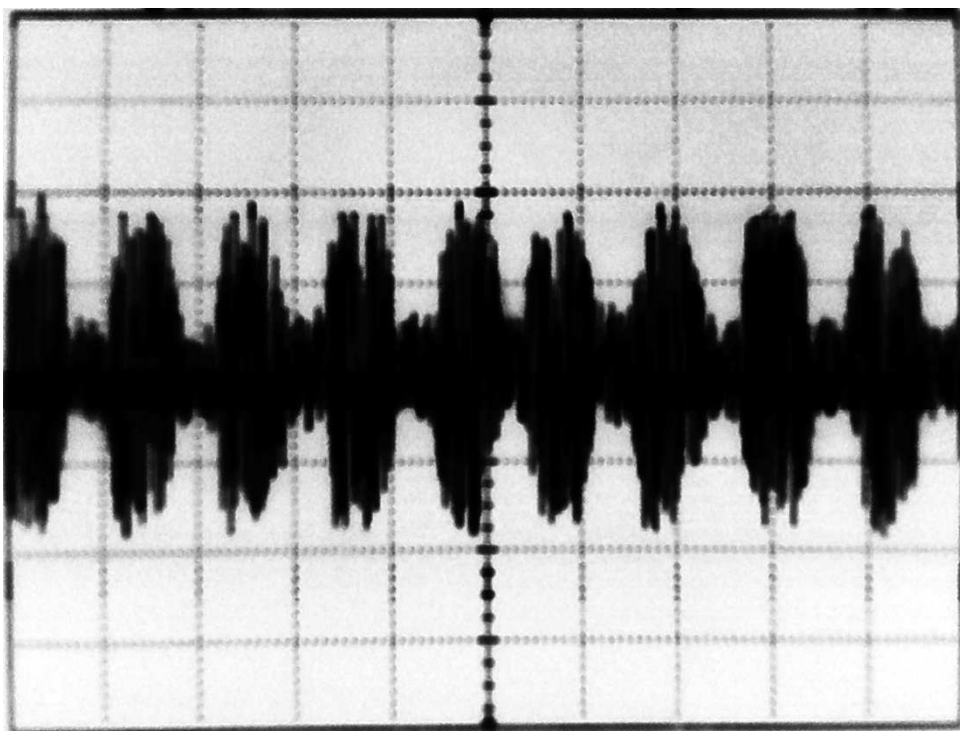
$$f_{\min} = 1 / T_{\min} = 1 / 57 \text{ ms} = 17,54 \text{ Hz a}$$

$$f_{\max} = 1 / T_{\max} = 1 / 23 \text{ ms} = 43,48 \text{ Hz.}$$

Na poslech je patrné, že po zapnutí efektu chvíli trvá, než se oscilátor rozkmitá, pak už ale reaguje na veškeré změny modulační frekvence i hloubky modulace velmi rychle. Oproti efektu fuzz je toto tremolo efekt velmi hlasitý, dosahuje velkého zesílení a je proto potřeba trimrem nastavit takovou hlasitost, aby napětí na vstupu a výstupu byly stejně velká.



Obr. 23: Výstupní signál efektu tremolo při minimální frekvenci modulačního signálu (100 mV/dílek, 20ms/dílek)

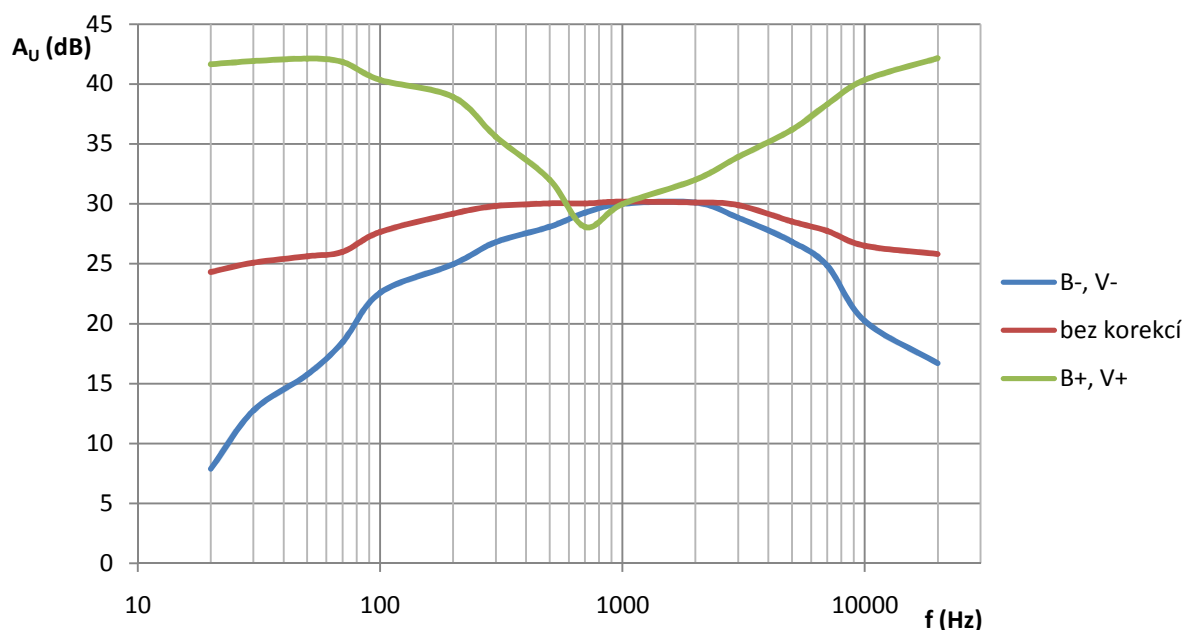


Obr. 24: Výstupní signál efektu tremolo při maximální frekvenci modulačního signálu (100 mV/dílek, 20ms/dílek)

3.2 Měření frekvenční charakteristiky předzesilovače

Předzesilovač byl při měření připojen ke stejnému generátoru jako v předchozím případě a byl napájen ze zdroje Diametral P230R51D napětím ± 30 V, toto napětí bylo stabilizátory na předzesilovači sníženo na ± 15 V.

Vstupní napětí bylo tentokrát 50 mV, vstupní i výstupní napětí bylo měřeno pomocí osciloskopu Agilent. Frekvence byla měněna v rozsahu 20 Hz – 20 kHz v několika krocích (tabulka naměřených hodnot je v příloze B.1).



Obr. 25: Graf závislosti napětového zesílení předzesilovače na frekvenci pro různé nastavení korekcí

Naměřená charakteristika se podobá charakteristice nasimulované, pouze při maximálním zdůraznění basů a výšek nedochází k takovému zesílení na nízkých a vysokých frekvencích (v simulaci až 47 dB, při měření pouze 42 dB, teoreticky až 50 dB). Dochází také, stejně jako v simulaci, k poklesu přenosu středních kmitočtů. Měření bez korekcí proběhlo s potenciometry nastavenými na střed svého rozsahu, dochází však k mírnému útlumu basů a výšek.

3.3 Měření výstupního výkonu zesilovače před limitací

K napájení zesilovače byl použit zdroj Diametral P230R51D, který je schopen dodat symetrické napájecí napětí ± 30 V při proudech 0 – 4 A, na vstup byl opět připojen signál o frekvenci 1 kHz z generátoru Hung Chang, jako zátěž byly zapojeny dva rezistory o odporu 2 Ohmy a maximálním ztrátovém výkonu 75 Wattů, v sérii tedy 4 Ohmy/150 Wattů. Postupným zvyšováním vstupního napětí se zvyšuje výstupní napětí, až dojde k okamžiku, kdy se zesilovač dostává do limitace (prudce stoupá harmonické zkreslení), což lze ověřit sledováním výstupního napětí na osciloskopu. Z napětí na výstupu před limitací se vypočte výstupní výkon

$$P_{\max} = U^2 / R = 17,5^2 / 4 = 76,6 \text{ W}.$$

3.4 Směrová a kmitočtová charakteristika ozvučnice

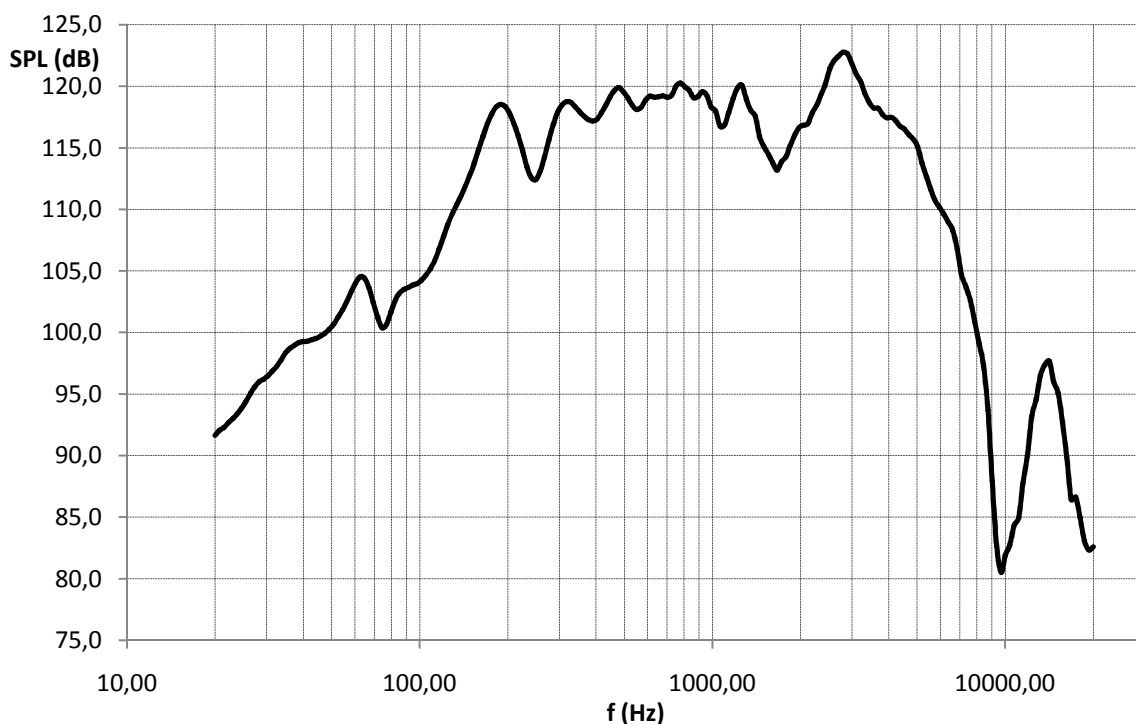
Modulová kmitočtová a směrová charakteristika ozvučnice jsou jedny z nejdůležitějších měření při stavbě reproduktorové skříně. Špatná ozvučnice dokáže i s dobrým zesilovačem a reproduktorem znepříjemnit poslech.

K měření těchto charakteristik slouží bezodrazová komora, která je vytlumena soustavou nejčastěji jehlanů, které mají za úkol pohltit akustické vlny, které by se jinak odrazily od stěn a ovlivňovaly signál jdoucí od reproduktoru přímo k měřicímu mikrofonu (obr. 26). Ten je připojen k analyzátoru NTI Acoustilyzer AL1. Do reproduktorů vstupuje signál z generátoru NTI Minirator MR-PRO zesílený zesilovačem BITTNER Basic 800. Měřící mikrofon je umístěn 1 m od měřené ozvučnice v ose mezi reproduktory.



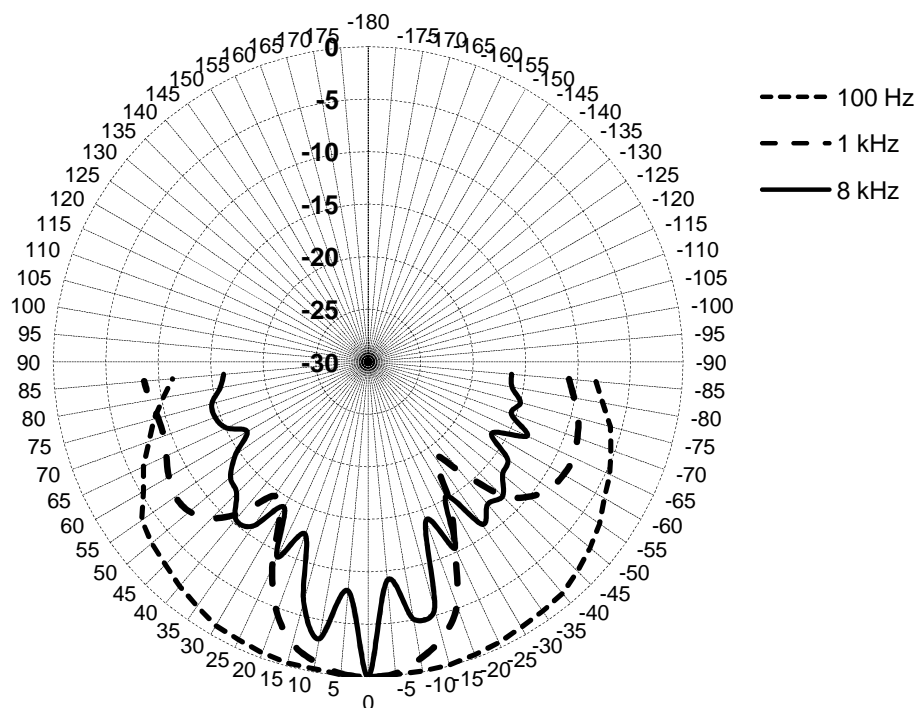
Obr. 26: Bezodrazová komora (vlevo na točně měřené kombo, vpravo měřící mikrofon a webkamera pro kontrolu police točny)

Měření modulové kmitočtové charakteristiky je prováděno v pásmu slyšitelných kmitočtů, tzn. 20 Hz – 20 kHz. Vzhledem k velikosti bezodrazové komory na Ústavu telekomunikací lze brát v potaz jen výsledky pro kmitočty vyšší než 200 Hz, pro nižší je komora malá. Charakteristika je na obrázku 27, reproduktory byly buzeny výkonem 60 W. Charakteristika ozvučnice poměrně věrně kopíruje kmitočtovou charakteristiku reproduktoru, akustický tlak je v pásmu 200 Hz – 6 kHz na hodnotách vyšších než 110 dB. Běžně uváděný práh bolesti je 120 dB, při frekvenci 3 kHz ozvučnice tuto hodnotu o několik dB překračuje. Naměřené hodnoty jsou v příloze B.2.



Obr. 27: Modulová kmitočtová charakteristika ozvučnice komba

K měření směrových charakteristik je dále potřeba dálkově ovládaná točna, na kterou se kombo postaví a lze s ním z dálky otáčet. Měření bylo prováděno na kmitočtech 100 Hz, 1 kHz a 8 kHz, směrové charakteristiky jsou na obrázku 28, hodnoty pak v příloze B.3. Charakteristika je souměrná, s rostoucím kmitočtem roste i počet laloků.



Obr. 28: Směrová charakteristika komba pro různé kmitočty

ZÁVĚR

V práci byla rozebrána problematika návrhu elektrických částí kytarového komba. Práce obsahuje teoretické poznatky z historie kytarových zesilovačů a efektů a jejich rozdělení. Byla navržena jednotlivá zapojení, kytarové kombo se bude skládat z předzesilovače, koncového zesilovače, dvou vestavěných efektů a dvou zdrojů zvlášť pro zesilovač s předzesilovačem a pro efekty.

Kytarové efekty a předzesilovač byly rovněž nasimulovány v programu PSpice, byla tak ověřena jejich funkčnost. Efekty zkreslují signál podle teoretických předpokladů. Předzesilovač dosahuje napěťového zesílení 30 dB na frekvenci 1 kHz a dovoluje měnit zesílení na nízkých frekvencích v rozsahu 7 – 57 dB, na vysokých frekvencích pak 14 – 57 dB. Efekty i předzesilovač byly proměřeny, efekt tremolo a předzesilovač fungují podle simulace, efekt distortion limituje signál pouze zespoda, proč tomu tak je se nepodařilo zjistit.

Koncový zesilovač s integrovaným obvodem TDA7293V dodává podle údajů výrobce pro napájecí napětí 30 V výkon 110 W do zátěže 4 Ω při harmonickém zkreslení 10%, resp. výkon 80 W pro zkreslení do 1 %, což je hodnota přibližně odpovídající normě pro Hi-Fi přístroje. Tato hodnota byla i ověřena měřením, naměřený výkon zesilovače před limitací je 76,6 W.

Na výstupu zesilovače byly paralelně zapojeny dva reproduktory Celestion G10 Vintage o impedanci 8 Ω , každý schopen vyzářit efektivní výkon až 60 W. I při využívání maximálního výkonu zesilovače kombo tak bez nežádoucích efektů reprodukuje signál. Byla pro ně navržena a proměřena i ozvučnice, modulová kmitočtová charakteristika je v požadovaném pásmu vyrovnaná, akustický tlak při příkonu 60 W je cca 120 dB.

Použitá literatura

- [1] KOTISA, Z. *NF ZESILOVAČE – 1. díl PŘEDZESILOVAČE*. Praha: Nakladatelství BEN, 2001.
- [2] KOTISA, Z. *NF ZESILOVAČE – 2. díl INTEGROVANÉ VÝKONOVÉ ZESILOVAČE*. Praha: Nakladatelství BEN, 2002.
- [3] SVOBODA, L., ŠTEFAN, M. *Reproduktory a reproduktorové soustavy*. Praha: SNTL, 1983.
- [4] KRATOCHVÍL, T. *BNFE – přednáška č. 3. Presentace z přednášek*. Brno: FEKT VUT v Brně, 2010.
- [5] Wikipedia.org. *Guitar amplifier* [online]. www [cit. 28. prosince 2011]. Dostupné na [www: <http://en.wikipedia.org/wiki/Guitar_amplifier>](http://en.wikipedia.org/wiki/Guitar_amplifier).
- [6] Wikipedia.org. *Effect unit* [online]. www [cit. 28. prosince 2011]. Dostupné na [www: <http://en.wikipedia.org/wiki/Effect_unit>](http://en.wikipedia.org/wiki/Effect_unit).
- [7] STMicroelectronics. *TDA7293V AUDIO AMPLIFIER* [online]. datasheet [cit. 28. prosince 2011]. Dostupné na [www: <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/25103/STMICROELECTRONICS/TDA7293V.html>](http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/25103/STMICROELECTRONICS/TDA7293V.html).
- [8] STMicroelectronics. *L78S00 2A POSITIVE VOLTAGE REGULATORS* [online]. datasheet [cit. 28. prosince 2011]. Dostupné na [www: <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/22619/STMICROELECTRONICS/L78S00.html>](http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/22619/STMICROELECTRONICS/L78S00.html).
- [9] KEEN, R. G. *The Technology of the Fuzz Face* [online]. www [cit. 24. května 2012]. Dostupné na [www: <http://www.geofex.com/article_folders/fuzzface/fftech.htm>](http://www.geofex.com/article_folders/fuzzface/fftech.htm).
- [10] Tonepad.com. *Austremolo – Electronics Australia Tremolo* [online]. www [cit. 28. prosince 2011]. Dostupné na [www: <http://tonepad.com/getFile.asp?id=130>](http://tonepad.com/getFile.asp?id=130).
- [11] Celestion. *Celestion G10 Vintage* [online]. www [cit. 24. května 2012]. Dostupné na [www: <http://celestion.com/product/30/g10_vintage/>](http://celestion.com/product/30/g10_vintage/).

Seznam obrázků a tabulek

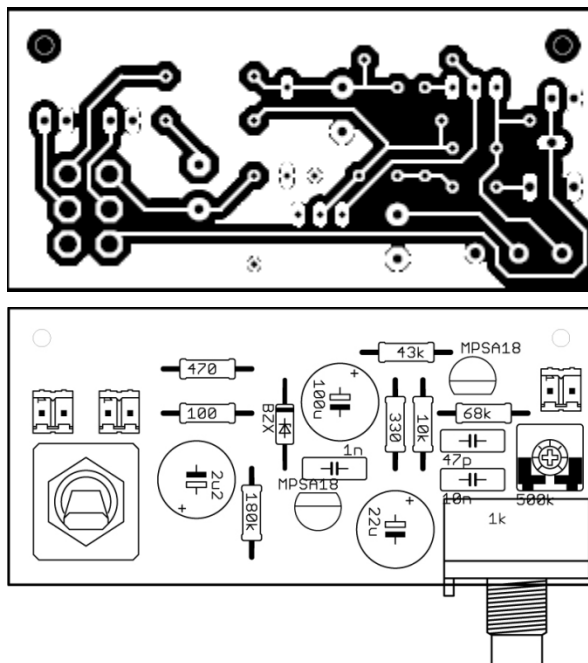
Obr. 1: Cesta signálu z kytary až po reproduktor	8
Obr. 2: Kytarové kombo s elektronkami v předzesilovači (6, vpravo) i koncovém zesilovači (2, vlevo) [5]	9
Obr. 3: Nastavení pracovních bodů pro třídy A, AB, B (upraveno z [4])	10
Obr. 4: Akustický zkrat u deskové ozvučnice (vlevo) a otevřené skříňové ozvučnice (vpravo) (upraveno z [3])	10
Obr. 5: Skříňové efekty (tzv. rackmounts) [6]	12
Obr. 6: Deska s pedálovými efekty [6]	12
Obr. 7: Schéma efektu Dunlop JH Fuzz Face (převzato z [9])	14
Obr. 8: Časové průběhy na vstupu a na výstupu efektu fuzz pro různé nastavení potenciometru zkreslení	15
Obr. 9: Schéma efektu EA Tremolo [10]	15
Obr. 10: Časový průběh na výstupu efektu tremolo	16
Obr. 11: Schéma předzesilovače (upraveno z [1])	16
Obr. 12: Přenosová frekvenční charakteristika předzesilovače pro různé nastavení potenciometrů pro korekce basů a výšek	17
Obr. 13: Pouzdro Multiwatt15 [7]	17
Obr. 14: Zjednodušené schéma vnitřního zapojení obvodu TDA7293V (upraveno z [7])	18
Obr. 15: Schéma zapojení koncového stupně [2]	19
Tabulka 1: Parametry zesilovače TDA7293V [2]	19
Obr. 16: Schéma stabilizovaného zdroje 9 V (upraveno z [1])	20
Obr. 17: Schéma zdroje pro koncový zesilovač a předzesilovač	20
Obr. 18: Graf závislosti hladiny akustického tlaku (SPL) na frekvenci [11]	21
Obr. 19: Rozměry komba	22
Obr. 20: Přední a zadní panel zesilovače	22
Obr. 21: Rozmístění bloků zesilovače	23
Obr. 22: Vstupní a výstupní signál efektu fuzz (100 mV/dílek, 500 μ s/dílek)	24
Obr. 23: Výstupní signál efektu tremolo při minimální frekvenci modulačního signálu (100 mV/dílek, 20ms/dílek)	25
Obr. 24: Výstupní signál efektu tremolo při maximální frekvenci modulačního signálu (100 mV/dílek, 20ms/dílek)	25
Obr. 25: Graf závislosti napěťového zesílení předzesilovače na frekvenci pro různé nastavení korekcí	26
Obr. 26: Bezodrazová komora	27
Obr. 27: Modulová kmitočtová charakteristika ozvučnice komba	28
Obr. 28: Směrová charakteristika komba pro různé kmitočty	28

Seznam příloh

A.	PLOŠNÉ SPOJE A SEZNAMY SOUČÁSTEK.....	33
A.1	Fuzz	33
A.2	Tremolo	34
A.3	Předzesilovač	35
A.4	Koncový zesilovač.....	36
A.5	Zdroj	37
A.6	Další materiál.....	38
B.	NAMĚŘENÉ HODNOTY	39
B.1	Přenosová frekvenční charakteristika předzesilovače	39
B.2	Modulová frekvenční charakteristika ozvučnice	39
B.3	Směrová charakteristika ozvučnice	40
C.	FOTOGRAFIE KOMBA	42

A. PLOŠNÉ SPOJE A SEZNAMY SOUČÁSTEK

A.1 Fuzz

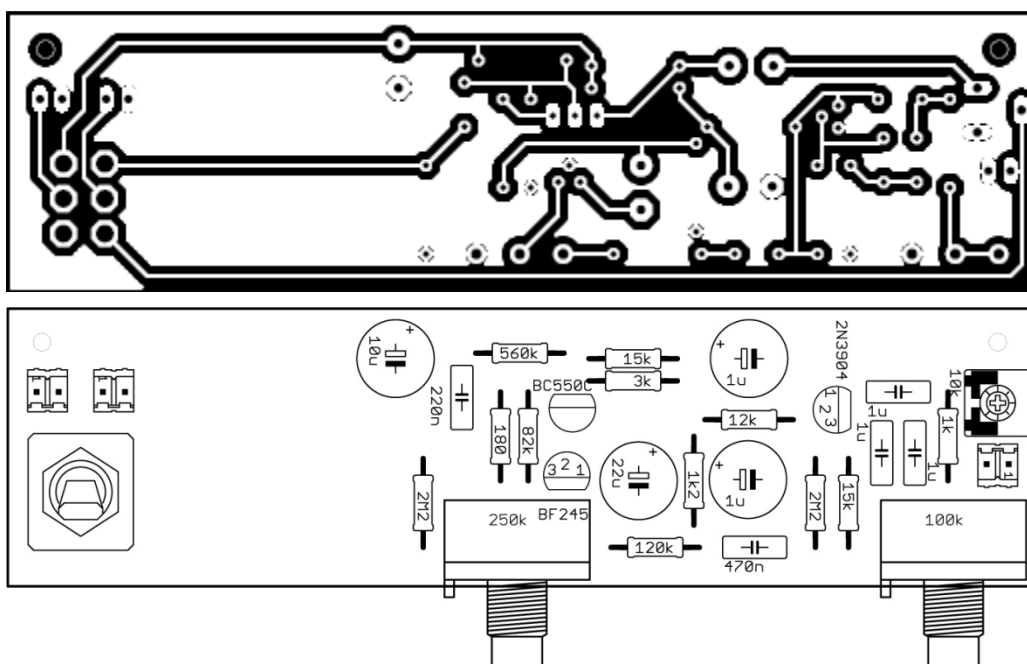


Deska plošného spoje a osazovací plán pro fuzz, rozměry 67 x 32 mm

Seznam součástek:

Hodnota/Název	Popis	Množství (ks)
MPSA18	NPN tranzistor, pouzdro TO92	2
100 Ω	metalizovaný rezistor	1
330 Ω	metalizovaný rezistor	1
470 Ω	metalizovaný rezistor	1
10 k Ω	metalizovaný rezistor	1
43 k Ω	metalizovaný rezistor	1
68 k Ω	metalizovaný rezistor	1
180 k Ω	metalizovaný rezistor	1
500 k Ω	miniaturní trimr	1
1 k Ω	potenciometr 16 mm	1
BZX 55/C 9V1	Zenerova dioda 9,1 V	1
47 pF	keramický kondenzátor	1
1 nF	keramický kondenzátor	1
10 nF	keramický kondenzátor	1
2,2 μ F/50 V	elektrolytický kondenzátor	1
22 μ F/25 V	elektrolytický kondenzátor	1
100 μ F/16 V	elektrolytický kondenzátor	1
spínač	na panel, 2-pólový, zap-zap	1

A.2 Tremolo



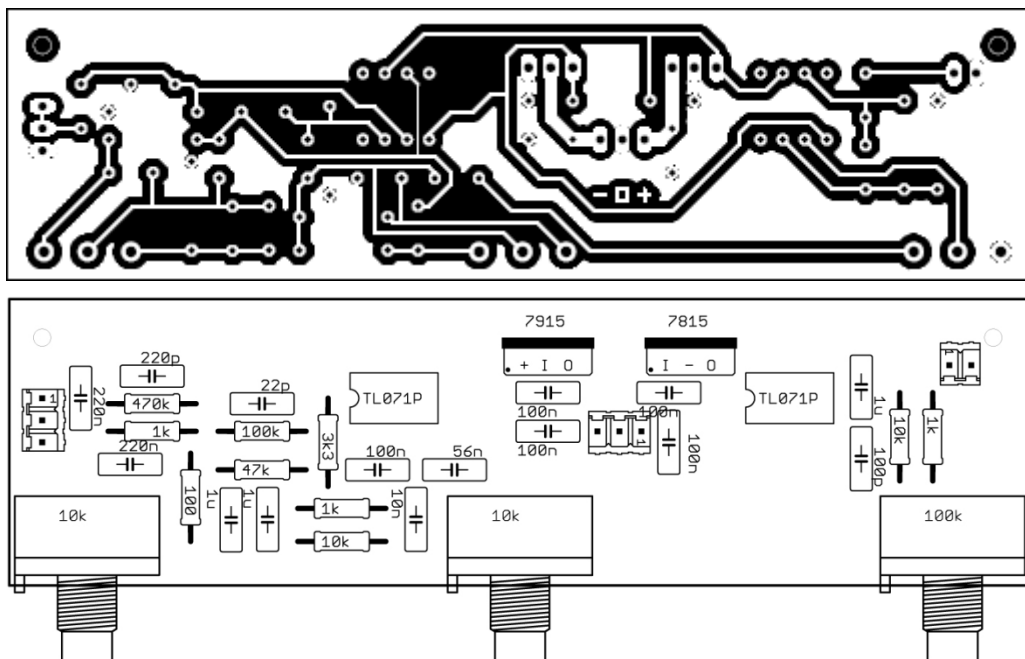
Deska plošného spoje a osazovací plán pro tremolo, rozměry 120 x 32 mm

Seznam součástek:

Hodnota/Název	Popis	Množství (ks)
BC550C	NPN tranzistor, pouzdro TO92	1
2N3904	NPN tranzistor, pouzdro TO92	1
BF245A	unipolární tranzistor, pouzdro TO92	1
180 Ω	metalizovaný rezistor	1
1 k Ω	metalizovaný rezistor	1
1,2 k Ω	metalizovaný rezistor	1
3 k Ω	metalizovaný rezistor	1
12 k Ω	metalizovaný rezistor	1
15 k Ω	metalizovaný rezistor	2
82 k Ω	metalizovaný rezistor	1
120 k Ω	metalizovaný rezistor	1
560 k Ω	metalizovaný rezistor	1
2,2 M Ω	metalizovaný rezistor	2
10 k Ω	miniaturní trimr	1
100 k Ω	potenciometr 16 mm	1
250 k Ω	potenciometr 16 mm	1
220 nF/63 V	svítkový kondenzátor	1
470 nF/63 V	svítkový kondenzátor	1
1 μ F	keramický kondenzátor	3
1 μ F/50 V	elektrolytický kondenzátor	2
10 μ F/25 V	elektrolytický kondenzátor	1

22 μ F/25 V	elektrolytický kondenzátor	1
spínač	na panel, 2-pólový, zap-zap	1

A.3 Předzesilovač



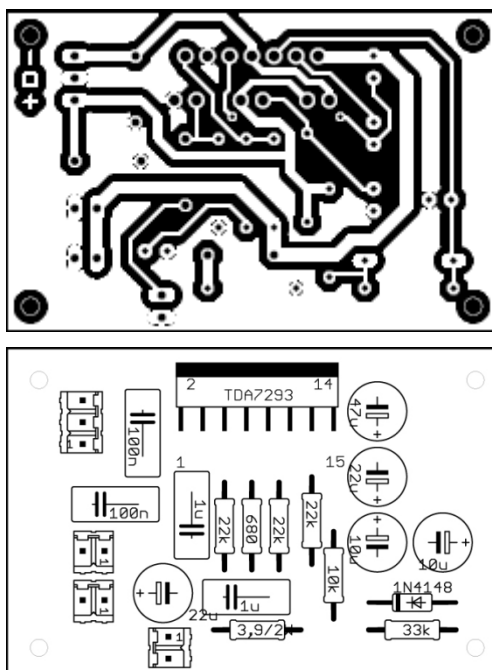
Deska plošného spoje a osazovací plán pro předzesilovač, rozměry 120 x 32 mm

Seznam součástek:

Hodnota/Název	Popis	Množství (ks)
TL071	nízkošumový oper. zesilovač, pouzdro DIP8	2
7815	stabilizátor +15 V, pouzdro TO220	1
7915	stabilizátor -15 V, pouzdro TO220	1
100 Ω	metalizovaný rezistor	1
1 k Ω	metalizovaný rezistor	3
3,3 k Ω	metalizovaný rezistor	1
10 k Ω	metalizovaný rezistor	2
47 k Ω	metalizovaný rezistor	1
100 k Ω	metalizovaný rezistor	1
470 k Ω	metalizovaný rezistor	1
10 k Ω	potenciometr 16 mm	2
100 k Ω	potenciometr 16 mm	1
10 nF/100 V	svitkový kondenzátor	1
56 nF/63 V	svitkový kondenzátor	1
100 nF/63 V	svitkový kondenzátor	1
220 nF/63 V	svitkový kondenzátor	2

1 $\mu\text{F}/63\text{ V}$	svitkový kondenzátor	3
22 pF	keramický kondenzátor	1
100 pF	keramický kondenzátor	1
220 pF	keramický kondenzátor	1
100 nF	keramický kondenzátor	4

A.4 Koncový zesilovač

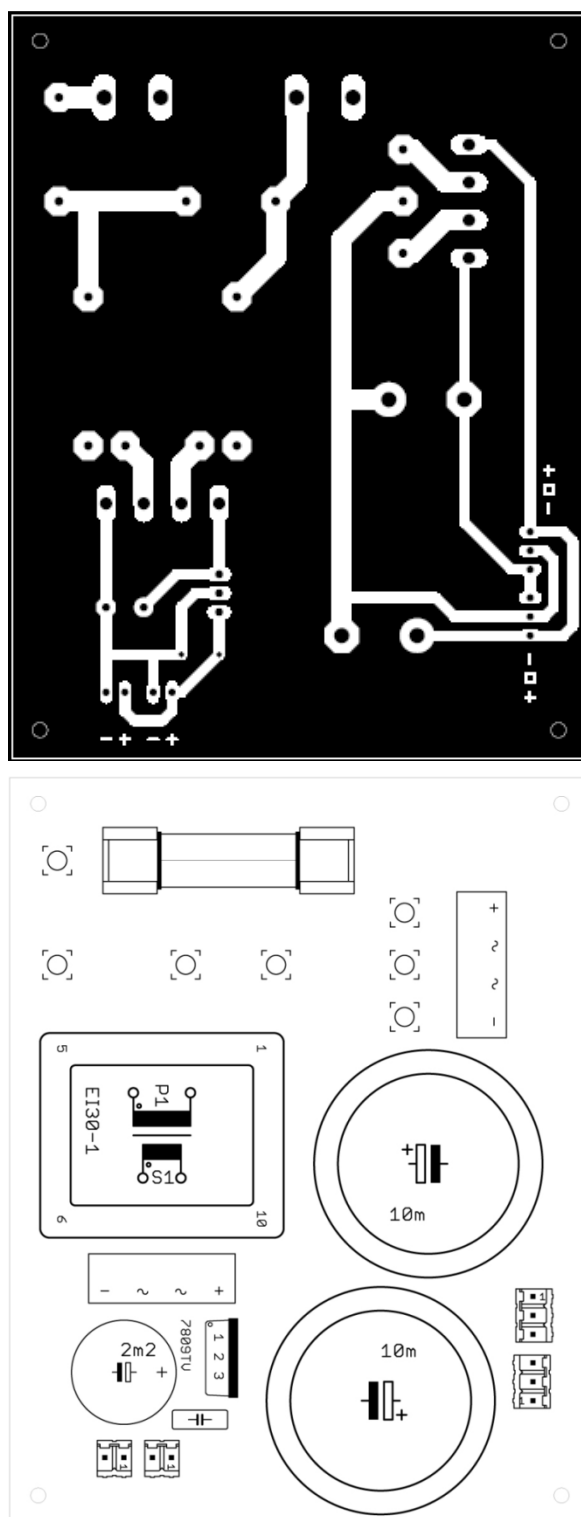


Deska plošného spoje a osazovací plán pro koncový zesilovač, rozměry 57 x 37 mm

Seznam součástek:

Hodnota/Název	Popis	Množství (ks)
TDA7293V	NF zesilovač, pouzdro Multiwatt15	1
3,9 $\Omega/2\text{ W}$	metaloxidový rezistor	1
680 Ω	metalizovaný rezistor	1
10 k Ω	metalizovaný rezistor	1
22 k Ω	metalizovaný rezistor	3
33 k Ω	metalizovaný rezistor	1
1N4148	Dioda	1
100 nF/63 V	svitkový kondenzátor	2
1 $\mu\text{F}/63\text{ V}$	svitkový kondenzátor	2
10 $\mu\text{F}/50\text{ V}$	elektrolytický kondenzátor	2
22 $\mu\text{F}/50\text{ V}$	elektrolytický kondenzátor	2
47 $\mu\text{F}/25\text{ V}$	elektrolytický kondenzátor	1
CHL20B	chladič 1,8 $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ + silikonová podložka + šroub 10 mm x M3 s matkou	1

A.5 Zdroj



Deska plošného spoje a osazovací plán pro zdroj, rozměry 77 x 99 mm

Seznam součástek:

Hodnota/Název	Popis	Množství (ks)
TR-T120	toroidní transformátor, 2 x 22 V, 120 W	1
HAHN BV EI 302 2021	transformátor do DPS, 1 x 9 V, 1,5 W	1

B250C4000	diodový můstek, 250 V, 4 A	2
7809	Stabilizátor +9 V, pouzdro TO220	1
100 nF	keramický kondenzátor	1
2,2 mF/16 V	elektrolytický kondenzátor	1
10 mF/50 V	elektrolytický kondenzátor	2
POJ30 1A	pojistka s držákem, 1 A	1

A.6 Další materiál

Seznam materiál:

Hodnota/Název	Popis	Množství (ks)
distanční sloupky	plastové sloupky 12,7 mm	14
spínač	na panel, 1-pólový, zap-zap	1
vypínač	síťový, 250 V/3 A	1
JACK 6,3 mm	mono zásuvka na panel	1
zástrčka	síťová, vestavná s kolíky, faston 6,3	1
P-S0035B	přístrojový knoflík, 35 x 16 mm	5
P-S0040B	přístrojový knoflík, 40 x 16 mm	1
rohový kryt	plastový kryt reprosoustavy, 35 x 35 x 55 mm	8
madlo	držadlo s ocelovou výstuží, 240 mm	1
vruty	různé délky a provedení	

B. NAMĚŘENÉ HODNOTY

B.1 Přenosová frekvenční charakteristika předzesilovače

U ₁ = 50 mV	B-, V-		bez korekcí		B+, V+	
f (Hz)	U ₂ (mV)	A _U (dB)	U ₂ (mV)	A _U (dB)	U ₂ (mV)	A _U (dB)
20	124	7,89	823	24,33	6056	41,66
30	217	12,75	898	25,09	6237	41,92
50	306	15,74	954	25,61	6390	42,13
70	419	18,46	997	25,99	6176	41,83
100	673	22,58	1207	27,65	5207	40,35
200	886	24,97	1438	29,18	4423	38,93
300	1093	26,79	1547	29,81	3019	35,62
500	1267	28,08	1589	30,04	1998	32,03
700	1452	29,26	1587	30,03	1267	28,08
1000	1583	30,01	1614	30,18	1575	29,97
2000	1601	30,11	1603	30,12	1993	32,01
3000	1387	28,86	1563	29,90	2478	33,90
5000	1102	26,86	1335	28,53	3218	36,17
7000	873	24,84	1219	27,74	4121	38,32
10000	513	20,22	1056	26,49	5201	40,34
20000	342	16,70	976	25,81	6409	42,16

B – basy, V – výšky

B.2 Modulová frekvenční charakteristika ozvučnice

f (Hz)	SPL (dB)
20,00	91,6
20,70	92,0
21,40	92,3
22,20	92,7
23,00	93,0
23,80	93,4
24,60	93,9
25,50	94,4
26,40	95,1
27,30	95,6
28,30	96,0
29,20	96,2
30,30	96,5
31,30	96,8
32,40	97,2
33,60	97,7

34,80	98,3
36,00	98,7
37,20	99,0
38,60	99,2
39,90	99,3
41,30	99,3
42,80	99,4
44,30	99,5
45,80	99,7
47,40	99,9
49,10	100,3
50,80	100,7
52,60	101,2
54,50	101,8
56,40	102,5
58,30	103,3
60,40	104,0

62,50	104,5
64,70	104,4
67,00	103,6
69,30	102,5
71,80	101,2
74,30	100,4
76,90	100,6
79,60	101,6
82,40	102,6
85,30	103,2
88,30	103,5
91,40	103,6
94,60	103,9
98,00	104,0
101,40	104,2
105,00	104,7
108,70	105,2

112,50	105,8
116,40	106,8
120,50	107,8
124,70	108,8
129,10	109,6
133,70	110,4
138,40	111,1
143,20	111,9
148,30	112,8
153,50	113,8
158,90	114,8
164,40	115,9
170,20	117,0
176,20	117,8
182,40	118,3
188,80	118,5
195,40	118,4

202,30	117,8	654,70	119,1	2118,50	117,0	6855,40	106,8
209,40	117,0	677,70	119,2	2193,00	117,9	7096,30	104,7
216,80	116,0	701,50	119,1	2270,00	118,5	7345,60	103,7
224,40	114,8	726,20	119,3	2349,80	119,3	7603,80	102,6
232,30	113,5	751,70	120,0	2432,40	120,2	7871,00	100,9
240,50	112,6	778,10	120,3	2517,90	121,4	8147,60	99,1
248,90	112,4	805,40	120,0	2606,30	122,1	8433,90	97,3
257,60	113,0	833,70	119,6	2697,90	122,5	8730,30	93,7
266,70	114,2	863,00	119,1	2792,70	122,8	9037,10	88,0
276,10	115,6	893,40	119,2	2890,90	122,6	9354,70	82,7
285,80	116,9	924,80	119,6	2992,50	121,9	9683,40	80,5
295,80	117,9	957,30	119,2	3097,60	121,0	10023,70	81,9
306,20	118,5	990,90	118,3	3206,50	120,4	10376,00	82,7
317,00	118,8	1025,70	118,0	3319,20	119,4	10740,60	84,3
328,10	118,7	1061,80	116,8	3435,80	118,7	11118,10	84,9
339,60	118,3	1099,10	116,9	3556,60	118,2	11508,80	87,7
351,60	117,9	1137,70	117,9	3681,50	118,2	11913,20	90,0
363,90	117,6	1177,70	119,0	3810,90	117,7	12331,90	93,2
376,70	117,3	1219,10	119,9	3944,80	117,4	12765,30	94,5
390,00	117,2	1261,90	120,1	4083,50	117,5	13213,90	96,5
403,70	117,3	1306,30	118,9	4227,00	117,2	13678,20	97,4
417,90	117,8	1352,20	118,0	4375,50	116,8	14158,90	97,7
432,50	118,5	1399,70	117,6	4529,30	116,5	14656,50	96,0
447,70	119,2	1448,90	115,9	4688,50	116,1	15171,60	95,1
463,50	119,7	1499,80	115,1	4853,20	115,7	15704,70	92,7
479,80	119,9	1552,50	114,5	5023,80	115,1	16256,60	89,9
496,60	119,5	1607,10	113,8	5200,30	113,7	16827,90	86,4
514,10	119,0	1663,50	113,2	5383,10	112,6	17419,30	86,6
532,10	118,5	1722,00	113,9	5572,20	111,6	18031,40	84,9
550,80	118,1	1782,50	114,3	5768,10	110,7	18665,10	83,1
570,20	118,3	1845,10	115,2	5970,80	110,2	19321,00	82,3
590,20	118,9	1910,00	116,0	6180,60	109,6	20000,00	82,6
611,00	119,2	1977,10	116,7	6397,80	109,0		
632,50	119,1	2046,60	116,8	6622,60	108,3		

B.3 Směrová charakteristika ozvučnice

relativní úhel vůči akustické ose	L [dB _{SPL}]			L_{REL} [dB]		
σ [°]	100 Hz	1 kHz	8 kHz	100 Hz	1 kHz	8 kHz
-85	54,3	67,8	47,4	-8,2	-10,8	-16,3
-80	55,2	68,5	47,6	-7,3	-10,1	-16,1
-75	56,4	69,3	48,7	-6,1	-9,3	-15,0
-70	57,1	69,8	48,2	-5,4	-8,8	-15,5

-65	57,9	70,2	50,4	-4,6	-8,4	-13,3
-60	58,5	70,1	47,3	-4,0	-8,5	-16,4
-55	59,4	69,7	49,9	-3,1	-8,9	-13,8
-50	60,1	68,6	50,4	-2,4	-10,0	-13,3
-45	60,7	66,6	51,8	-1,8	-12,0	-11,9
-40	61,3	62,3	51,4	-1,2	-16,3	-12,3
-35	61,5	59,7	52,6	-1,0	-18,9	-11,1
-30	61,7	64,2	48,5	-0,8	-14,4	-15,2
-25	62,0	68,1	53,3	-0,5	-10,5	-10,4
-20	62,2	73,3	49,8	-0,3	-5,3	-13,9
-15	62,4	75,8	58,1	-0,1	-2,8	-5,6
-10	62,4	77,3	58,6	-0,1	-1,3	-5,1
-5	62,4	78,4	54,6	-0,1	-0,2	-9,1
0	62,5	78,6	63,7	0,0	0,0	0,0
5	62,4	78,4	55,6	-0,1	-0,2	-8,1
10	62,2	77,6	60,5	-0,3	-1,0	-3,2
15	62,2	76,4	57,4	-0,3	-2,2	-6,3
20	62,0	74,0	51,2	-0,5	-4,6	-12,5
25	61,7	70,2	54,2	-0,8	-8,4	-9,5
30	61,5	65,4	49,7	-1,0	-13,2	-14,0
35	60,9	64,2	52,8	-1,6	-14,4	-10,9
40	60,4	67,4	53,3	-2,1	-11,2	-10,4
45	59,8	69,7	51,4	-2,7	-8,9	-12,3
50	59,4	70,8	50,8	-3,1	-7,8	-12,9
55	58,8	71,0	49,1	-3,7	-7,6	-14,6
60	57,2	70,5	47,0	-5,3	-8,1	-16,7
65	56,1	69,8	48,6	-6,4	-8,8	-15,1
70	54,7	69,3	49,2	-7,8	-9,3	-14,5
75	53,6	69,3	49,1	-8,9	-9,3	-14,6
80	52,3	69,7	48,0	-10,2	-8,9	-15,7
85	51,2	70,0	47,5	-11,3	-8,6	-16,2

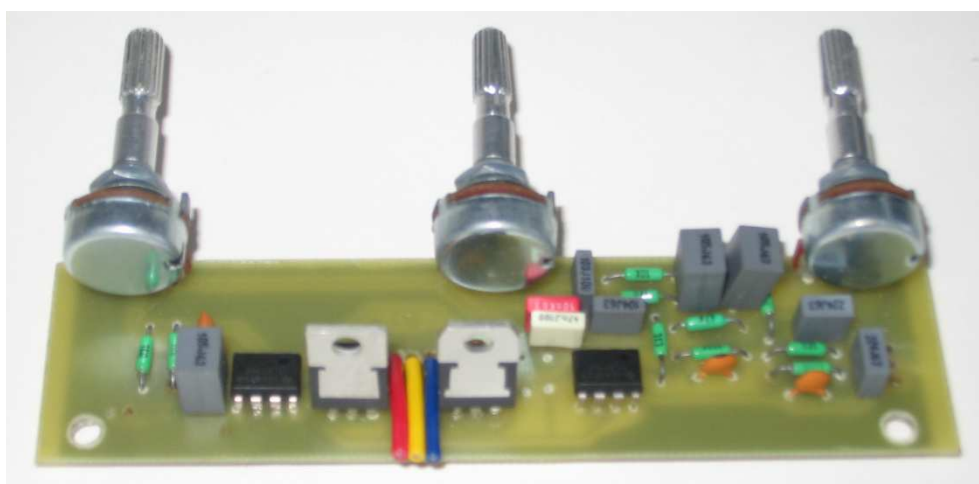
C. FOTOGRAFIE KOMBA



Osazený plošný spoj efektu fuzz



Osazený plošný spoj efektu tremolo



Plošný spoj korekčního zesilovače



Plošný spoj koncového zesilovače s přišroubovaným chladičem



Zdroj zesilovače s toroidním transformátorem (vpravo) a zdroj pro efekty (vlevo)



Celkový pohled na kombo (čelní panel ještě bez popisů)



Reproduktory Celestion G10 Vintage